

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV PROCESNÍHO A EKOLOGICKÉHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PROCESS AND ENVIRONMENTAL
ENGINEERING

ENERGETICKÉ VYUŽITÍ ODPADŮ JAKO KLÍČOVÝ PRVEK MODERNÍCH SYSTÉMŮ ODPADOVÉHO HOSPODÁŘSTVÍ

WASTE-TO-ENERGY AS A KEY TECHNOLOGY OF DEVELOPED WASTE MANAGEMENT
SYSTEMS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

DOMINIK GUŠTARA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. RADOVAN ŠOMPLÁK

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav procesního a ekologického inženýrství

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Dominik Guštara

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Základy strojního inženýrství (2341R006)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Energetické využití odpadů jako klíčový prvek moderních systémů odpadového hospodářství

v anglickém jazyce:

Waste-to-Energy as a key technology of developed waste management systems

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Česká republika neplní své závazky vůči EU v oblasti odpadového hospodářství. V ČR se stále skládá více než 54% komunálních odpadů. Dlouhodobou snahou je, aby se ČR zařadila mezi země s rozvinutým systémem odpadového hospodářství, který je v souladu s hierarchií nakládání s odpady. V takových systémech mají spalovny odpadů nezastupitelnou roli. Podíl energeticky využívaných odpadů se v jednotlivých evropských zemích značně liší. V některých státech je vysoký stejně jako zpracovatelská kapacita. Začíná se projevovat efekt mírného nedostatku odpadů. V jiných zemích se realizují nové projekty a zpracovatelská kapacita vzrůstá. V souvislosti se zpřesňováním datové základny výpočtového systému NERUDA EU (nerudawasteflow.pbworks.com) je cílem bakalářské práce seznámit se s danou problematikou a dílčí analýzou veřejně dostupných dat přispět k dalšímu vyvíjení nástroje NERUDA.

Důležitá poznámka:

Veškeré další informace a upřesnění údajů včetně grafických interpretací naleznete na webových stránkách

<http://www.upei.fme.vutbr.cz/studium/temata-bakalarskych-praci-2014-2015>

nebo přímo u garanta zadání, který Vám vše rád osobně vysvětlí. .

Cíle bakalářské práce:

- 1.Seznámení se s problematikou a rešerše aktuálních literárních zdrojů.
- 2.Zpracování analýzy současného vývoje ve vybraných zemích
- 3.Analýza dostupných dat souvisejících s hodnocením účinnosti transformace energie ve spalovnách odpadů

Seznam odborné literatury:

Reimann O. Cewep Energy Report III. Bamberg, 2012

BiPRO,2012, Screening of waste management performance of EU Member States. Report submitted under the EC project Support to Member States in improving waste management based on assessment of Member States' performance. Report prepared for the European Commission, DG ENV

European Commission. 2012. Use of economic instruments and waste management performances. The final report of 15 February 2012.

Gaia (2013): Incineration overcapacity and waste shipping in Europe: the end of the proximity principle?, 2013 (<http://www.no-burn.org/>)

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Radovan Šomplák

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015.

V Brně, dne 23.11.2014

L.S.

prof. Ing. Petr Stehlík, CSc., dr. h. c.
Ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
Děkan fakulty

Abstrakt

Bakalářská práce se soustředí na analýzu současného stavu systémů odpadového hospodářství v Evropě a predikci jeho budoucího vývoje s důrazem na energetické využití odpadů. První část práce slouží k uvedení do problematiky nakládání s odpady a k popisu výpočtového nástroje NERUDA. Následuje popis sběru dat o současném stavu odpadového hospodářství v řešených státech. Závěrečná a nejdůležitější část se zabývá vysvětlením toho, jakým způsobem byl odhadnut budoucí vývoj, a analýzou výsledků optimalizační úlohy.

Klíčová slova

energetické využití odpadů, odpadové hospodářství, komunální odpad, Evropa, odhad vývoje dat, optimalizační úloha

Abstract

Bachelor thesis focuses on analyzing the current state of European waste management systems and on prediction of its future development with focus on waste-to-energy technology. First part of this thesis serves as an introduction to the waste management issue and describes a computational tool NERUDA. Following is a description of data collection about the current state of waste management in the investigated countries. The final and most important part deals with the explanation of how the future development was estimated and with analyzing the results of optimization.

Keywords

waste-to-energy technology, waste management, municipal waste, Europe, estimation of data development, optimization

Bibliografická citace

GUŠTARA, D. *Energetické využití odpadů jako klíčový prvek moderních systémů odpadového hospodářství*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 44 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Radovan Šomplák.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma *Energetické využití odpadů jako klíčový prvek moderních systémů odpadového hospodářství* vypracoval samostatně a s použitím materiálů uvedených v seznamu použité literatury.

V Brně dne 28. 5. 2015

.....

Dominik Guštara

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval v první řadě Ing. Radovanu Šomplákovi za vedení a cenné rady při psaní této práce. Děkuji také Ing. Martinu Pavlasovi, PhD. za pomoc při volbě tématu práce a Ing. Lukáši Frýbovi za vizualizaci mých výsledků v prostředí softwaru ArcGIS.

Dále bych rád poděkoval své rodině za veškerou podporu během celého studia, své spolubydlící Natálii Štěpánkové za pomoc při stylistické úpravě této práce a v neposlední řadě svým spolužákům Petrovi Olšovskému a Tomášovi Petrovi za to, že mě uvolnili z práce na týmovém projektu pokaždé, když jsem potřeboval čas na práci na této práci.

Obsah

1	Úvod.....	9
1.1	Důležité pojmy	10
1.2	Motivace	11
2	NERUDA.....	13
3	Sběr a práce s daty	15
3.1	Model podkladové mapy Evropy	15
3.1.1	Státy zahrnuté do modelu.....	15
3.1.2	Rozdělení států do menších celků	15
3.1.3	Reprezentace území uzly	16
3.1.4	Spojení uzlů hranami.....	16
3.2	Produkce spalitelného odpadu	16
3.3	Kapacity zařízení.....	17
3.4	Poplatky za zpracování odpadu	19
3.4.1	Celkové poplatky za skládkování.....	19
3.4.2	Celkové poplatky za spalování.....	22
4	Predikce vývoje nashromážděných dat	23
4.1	Kapacity skládek.....	24
4.2	Kapacity ZEVO	24
4.3	Poplatky za skládkování.....	25
4.4	Spalovací poplatky.....	26
5	Simulace scénářů nástrojem NERUDA	29
5.1	Výsledné nakládání s odpady.....	29
5.2	Mezistátní tok odpadu.....	30
5.2.1	Export odpadu.....	30
5.2.2	Import odpadu	31
5.2.3	Vizualizace toku odpadu.....	32
5.3	Využití ZEVO ve státech 3. kategorie.....	34
	Závěr.....	37
	Seznam použitých zdrojů a literatury	39
	Seznam použitých symbolů a zkratk	41
	Příloha A – Graf výsledného simulovaného nakládání s odpady	42
	Příloha B – Mapa svozu odpadu.....	43
	Příloha C – Seznam příloh na CD	44

1 Úvod

V současné společnosti se slovo ekologie stává stále častěji skloňovaným tématem. Hlavně v rozvinutých státech roste mezi lidmi zájem o péči o životní prostředí a je vyvíjena snaha minimalizovat dopady lidského počínání na přírodu. Tyto diskutované ekologické problémy jdou často ruku v ruce s problémy ekonomickými, proto je od sebe nelze úplně oddělit. Mezi nejčastěji zmiňovaná a zajímavá témata bezpochyby patří:

- 1) množství vyprodukovaného odpadu a způsob jeho likvidace,
- 2) tenčící se zásoby fosilních paliv a s tím související snaha o nalezení alternativních zdrojů pro výrobu elektrické a tepelné energie.

Jako nejsnazší řešení prvního problému se dlouhou dobu jevilo skládkování odpadu. Nejsnazší řešení ale vždy nebývají ta nejlepší, a proto se postupem času některé vyspělé státy, jako například ty v západní Evropě, začaly v této otázce zaměřovat jiným směrem a rozhodly se spalováním odpad využívat jako druhotný zdroj energie. Tím zároveň přispěly k řešení problému číslo dvě, protože při tomto spalovacím procesu vzniká velké množství tepla, které lze využívat jak k vytápění, tak k výrobě elektrické energie.

V problematice nakládání s odpady ale stojí jeho likvidace až na konci určité hierarchie, uplatňované např. v rámci Evropské Unie. Základním kamenem této hierarchie, kterou vidíte znázorněnou na obr. 1.1, je snaha vzniku odpadu co nejvíce předcházet. Pokud odpad i přes tuto snahu vzniká, primárním způsobem, jak s ním naložit, by mělo být jeho opětovné využití nebo recyklace. Už méně preferovaným způsobem je jeho energetické využití, které je méně ekologické než recyklace, ale stále daleko více než skládkování, které je dnes považováno za absolutně nejhorší způsob, jak s odpadem naložit. [1]



Obr. 1.1: Hierarchie nakládání s odpady [2]

1.1 Důležité pojmy

V této práci budou použity pojmy, jejichž význam nemusí být jasný hned na první pohled, proto je důležité je v této kapitole vysvětlit.

Komunální odpad (KO):

Definici tohoto pojmu lze nalézt v zákonu o odpadech, předpis č. 185/2001 Sb. Zde jsou přímo definovány dva pojmy – *komunální odpad* a *odpad podobný komunálnímu odpadu*. Pokud oba tyto druhy shrneme do jedné kategorie, může pak být komunální odpad popsán jako *veškerý odpad vznikající na území obce při činnosti fyzických osob, právnických osob nebo fyzických osob oprávněných k podnikání a který je uveden jako komunální odpad v Katalogu odpadů*. Zmiňovaný Katalog odpadů je pak přílohou vyhlášky č. 381/2001 Sb. a KO v něm má přiřazené číslo skupiny 20. Tato skupina se dělí na další 3 podskupiny:

- 20 01: Složky z odděleného sběru (kromě odpadů uvedených v podskupině 15 01¹).
- 20 02: Odpady ze zahrad a parků (včetně hřbitovního odpadu).
- 20 03: Ostatní komunální odpady.

Směsný komunální odpad (SKO)

Tento pojem popisuje skupinu odpadů, tvořící významnou část KO a v Katalogu odpadů tvoří podskupinu 20 03 01. Jde o zbytkovou směs komunálních odpadů, kterou již není možno dále třídit a následně využít. Takový odpad se sbírá do tzv. kontejnerů na SKO a následně se sváží buď na skládku, nebo spalovnu. [3]

Spalitelný odpad

Tato práce se zabývá celou Evropou, bude proto vhodnější se při klasifikování odpadů raději držet směrnic EU než těch českých. V *Nařízení evropského parlamentu a rady č. 2150/2002* je odpad rozdělen do řady skupin, podobně jako v českém katalogu odpadů. Ze všech těchto skupin byla pro potřeby této úlohy vybrána a označena jako spalitelný odpad pouze skupina *W101: Odpad z domácností a podobné*. [4]

Energetické využívání odpadu (EVO):

Takto nazýváme proces spalování odpadu, při kterém dochází k přeměně nerecyklovatelného odpadu v užitečné formy energie, jako je elektrická a tepelná energie. Z SKO se díky tomuto procesu stává obnovitelný zdroj energie, který je schopný suplovat funkci fosilních paliv, a snížit tak jejich využití pro potřeby výroby elektrické

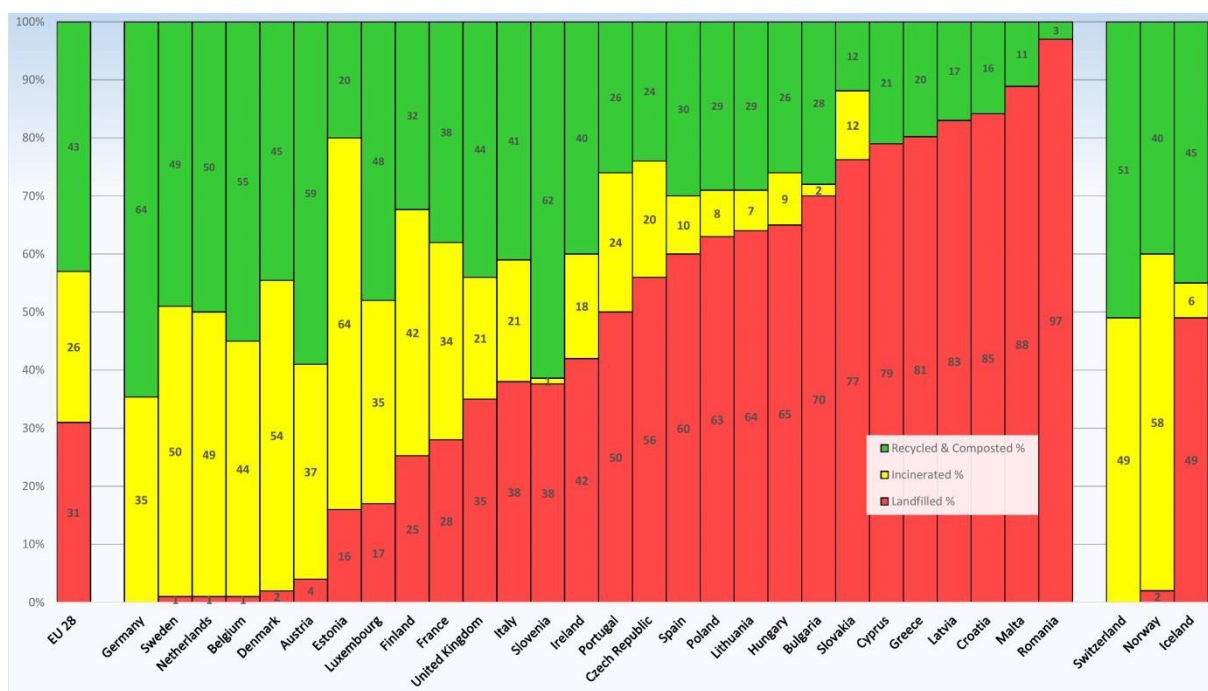
¹ Skupinu 15 01 tvoří obalový odpad, včetně odděleně sbíraného komunálního obalového odpadu.

a tepelné energie. Místa, kde k tomuto procesu dochází, nazýváme *zařízení pro energetické využívání odpadu – ZEVO*. [5]

Nevýhody a rizika EVO spočívají v tom, že při přílišném rozšíření této metody hrozí situace, kdy se státy přestanou ve svém nakládání s odpady posouvat směrem vzhůru v hierarchii nakládání s odpady. Místo přesunu odpadu směrem k recyklaci, popřípadě prevenci, by tak docházelo pouze k tomu, že množství dříve skládkovaného odpadu bude spalováno a procenta recyklovaného odpadu budou stagnovat. [6]

1.2 Motivace

Jak již bylo zmíněno, EU považuje skládkování odpadu ve svých členských zemích za problém, který je třeba řešit. Vynakládá proto značnou a dlouhodobou snahu motivovat členské státy k odklonu od tohoto způsobu zpracování. Bohužel, v množství zemí, včetně České republiky, má tato myšlenka k realizaci ještě stále daleko, jak je patrné z obr. 1.2.



Obr. 1.2: Procentuální zastoupení různých druhů zpracování KO v Evropských zemích v r. 2013 [7]

Řada lidí se snaží tomuto cíli přispět, jako například lidé z Ústavu procesního a ekologického inženýrství VUT v Brně², kteří vyvinuli nástroj jménem NERUDA. Podrobný popis tohoto nástroje naleznete v kapitole 2, zde stačí říct, že pro aplikaci tohoto nástroje na Evropu jako celek je třeba znát dostatek dat popisujících odpadové

² Dále jen ÚPEI VUT v Brně.

hospodářství³ v dílčích zemích. Právě ve sběru těchto dat tkví přínos této práce, není to ale její jediný přínos.

Druhá část se totiž věnuje predikci možného budoucího vývoje těchto získaných dat. Při této předpovědi bylo přihlíženo jak k dosavadnímu vývoji, tak k plánům autorit z EU na vývoj OH členských států. Na základě těchto dat byla díky nástroji NERUDA provedena optimalizační úloha zaměřená na rok 2025 a v poslední kapitole naleznete vyhodnocení výsledků této úlohy.

³ Dále jen OH.

2 NERUDA

Cílem této kapitoly je seznámit čtenáře s nástrojem, který byl již jednou zmíněn. Podobnost jeho názvu se jménem slavného realistického autora není čistě náhodná. Ve svém slavném fejetonu *Kam s ním?* řešil Jan Neruda ošemetný problém kterak naložit se starou slámou ze svého slamníku. Právě odpadům a nakládání s nimi se věnuje nástroj NERUDA jen v o něco větším měřítku, než je zlikvidování trochy staré slámy.

Vznik a funkce nástroje

Kromě seznamování s původem názvu je však třeba hlavně vysvětlit vznik a funkce tohoto nástroje. NERUDA vznikl pod taktovkou kolektivu lidí ze sekce energetických systémů a simulačních výpočtů, spadající pod ÚPEI VUT v Brně. Je to výpočtový nástroj, který na základě matematického modelu optimalizuje nakládání s odpady pro pevně zvolené okrajové podmínky. Příkladem těchto podmínek jsou informace o produkci odpadu, zpracovatelských kapacitách či poplatcích za zpracování odpadu. Výstupem těchto výpočtů je pak předpokládaný tok odpadu v závislosti na daných vstupech. [8]

Zpočátku byla jeho předmětem zájmu pouze Česká republika, v rámci které byl použit k analýze budoucích možností výstavby nových, popřípadě renovace stávajících ZEVO. V simulaci se počítalo s kompletním zákazem skládkování a také s dostatečným odbytíštěm vyrobeného tepla díky zavedeným systémům centrálního vytápění. [8]

Využití nástroje

Výsledky provedených simulací mohou být využity k mnoha účelům a mohou posloužit mnoha rozdílným zájemcům. V souladu s politikou EU je nejčastějším předmětem simulací taková situace, kdy je díky legislativním změnám na posuzovaném území omezeno či úplně zakázáno skládkování. Takováto situace by pak nahrávala investorům, snažícím se o vybudování nového ZEVO nebo o renovaci již existujícího zařízení. Tito pak mohou využít nástroj NERUDA k posouzení vhodnosti investice. Následnou změnou okrajových podmínek pak lze do simulace zahrnout i různá rizika, jako jsou například náhlé změny produkce odpadu nebo legislativy, a na základě nich posoudit udržitelnost projektu. [8]

Není ale třeba soustředit se vyloženě jen na EVO. Díky tomu, že výstupními daty NERUDY jsou návrhy svozových tras, může velmi dobře posloužit také k výběru nejideálnějšího způsobu dopravy odpadu z místa vzniku až na místo zpracování. S rostoucím měřítkem řešeného území je pak také třeba zohledňovat nutnost výstavby překládacích stanic, o jejichž umístění může opět tento nástroj pomoci rozhodnout. [8]

Modifikace na NERUDA EU

Potenciál tohoto nástroje ale leží daleko za hranicemi ČR a proto se začalo pracovat na jeho rozšíření nazvaném NERUDA EU. Jak název napovídá, tato verze se nesoustředí na OH jedné země, ale řeší ho pro celý evropský kontinent. Detailnost takového projektu samozřejmě nemůže být tak velká, jako v případě, kdy se řeší jediný stát – pro ilustraci lze zmínit, že ČR je v tomto projektu rozdělena na pouhá čtyři území, na kterých se agregují potřebná data. Toto měřítko je však postačující a do budoucna je navíc stále možné vytvářet postupně detailnější mapy jednotlivých států. [8]

S vytvořením evropské modifikace nástroje NERUDA souvisí mnoho úkolů a tím pádem k jeho vývoji může přispět celá řada lidí. Jedním z nich je i autor této práce, jehož přínos tomuto projektu vám bude představen v následujících kapitolách.

3 Sběr a práce s daty

Prvním důležitým úkolem této bakalářské práce bylo shromáždit data o současném stavu OH v evropských státech, na jejichž základě by mohl být proveden odhad budoucího vývoje. Zároveň bylo dbáno na to, aby tato data byla zpracována ve formě srozumitelné pro nástroj NERUDA, a usnadnila se tak práce předcházející samotnou optimalizační úlohou. Data byla zanášena do souboru vytvořeného v prostředí MS Excel, který naleznete na příloženém CD pod názvem *počáteční_stav*. Na následujících řádcích bude popsán postup v této části práce.

3.1 Model podkladové mapy Evropy

V první řadě by bylo vhodné ukázat, jakým způsobem byla zpracována mapa Evropy tak, aby vyhovovala tomuto úkolu. Některé státy byly do modelu zahrnuty, jiné ne, a následně se všechny tyto státy dělily na menší celky. Přestože veškerá práce na této mapě je objektem diplomové práce kolegy Bc. Pavla Gala (viz [4]), bude shrnuta i zde a to proto, že jsou s ní úzce provázány i úkoly provedené v rámci této práce.

3.1.1 Státy zahrnuté do modelu

V první fázi vytváření mapy se počítalo pouze se státy EU, kromě Řecka a Bulharska, které byly vyčleněny kvůli nevýhodné poloze. Poté byly do návrhu zahrnuty státy bývalé Jugoslávie – Albánie, Bosna a Hercegovina, Černá Hora, Kosovo, Makedonie, Srbsko – čímž se docílilo i propojení dvou dříve vyloučených států se zbytkem EU, takže mohly být do návrhu navraceny. Na závěr byly přidány i země, které sice nenáleží k EU, ale jejich význam na poli OH je nezanedbatelný – Švýcarsko, Norsko, Bělorusko, Ukrajina a Turecko. [4]

Na druhou stranu, některé státy byly vyloučeny kvůli jejich nedostupnosti pozemní cestou nebo nevýznamnosti co se produkce odpadu týče – Kypr, Malta, Island, Vatikán, Monako, San Marino a Gibraltar. Celkový počet států se tedy nakonec vyšplhal na číslo 39. [4]

3.1.2 Rozdělení států do menších celků

Veškeré zohledňované státy byly rozděleny na menší správní celky s přihlédnutím k jejich vlastní infrastruktuře. Za ideální rozlohu byla určena hodnota 21 000 km² a vytvořená území se až na výjimky kolem této hodnoty pohybují. [4]

3.1.3 Reprezentace území uzly

Každé území je v modelu reprezentováno jedním uzlem – ve většině případů je jím správní město dané oblasti. Tomuto uzlu pak byly přiděleny atributy vztahující se k celému území, jako například jeho celková rozloha, počet obyvatel, produkce spalitelného odpadu na obyvatele za rok nebo roční kapacita skládek odpadu a ZEVO. [4]

3.1.4 Spojení uzlů hranami

Poslední část tvorby mapy spočívala v nalezení nejkratšího možného silničního⁴ spojení mezi jednotlivými uzly. Podmínkou bylo, že cesta mezi dvěma uzly nesmí vést přes nebo v těsné blízkosti jiného – taková trasa nebyla do modelu zahrnuta. Tyto vzdálenosti pak byly využity k vytvoření matice cest v prostředí MS Excel – viz obr. 3.1. [4]

1		Klaipeda	Vilnius	Kaunas	Liepaja	Riga	Daugavpils
80	Klaipeda			213	99	276	
81	Vilnius			101		294	175
82	Kaunas					259	209
83	Liepaja					216	
84	Riga						223
85	Daugavpils						

Obr. 3.1: Výňatek z matice cest [4]

3.2 Produkce spalitelného odpadu

Ke každému uzlu bylo potřeba přiřadit množství odpadu vhodného ke spalování vyprodukovaného na jeho území během jednoho roku. Díky [4] byly známé jak hodnoty počtu obyvatel v každém území, tak i množství spalitelného odpadu na jednu osobu za jeden rok ve všech řešených zemích (tyto hodnoty jsou vždy pro celou zemi stejné). Následně stačilo pouze tyto hodnoty mezi sebou násobit a výsledkem bylo množství spalitelného odpadu vyprodukovaného obyvateli v celém regionu za rok. Tato data jsou v příloženém souboru k nalezení na listu *odpad* a ukázkou těchto dat vidíte na obr. 3.2.

⁴ V ojedinělých případech, kdy mezi dvěma uzly neexistovalo pouze silniční spojení, byla do délky trasy započítána i trasa uražená po železnici nebo trajektem – viz [4].

č.	spal. odpad [t/rok]	reprezentující uzel	oblast	počet obyvatel	země	spal. odpad na osobu [kg/rok]
15	1 192 984,2	Praha	Střed ČR	4 046 576	Česká republika	294,8
16	689 210,9	Plzeň	Západ ČR	2 337 788		
17	495 244,1	Brno	Jihovýchod	1 679 857		
18	722 853,8	Ostrava	Východ ČR	2 451 904		
19	1 829 205,0	Kobenhavn	Ostrovky	3 749 846	Dánsko	487,8
20	903 802,0	Viborg	Pevnina	1 852 782		

Obr. 3.2: Produkce spalitelného odpadu za rok ve vybraných uzlech

Úplné odkazy na původ dat lze nalézt v [4], ale ve zkratce bude zmíněn i zde. Většina těchto použitých dat pochází z databází Eurostatu⁵ a pro státy, jejichž produkce spalitelného odpadu na osobu nebyla v této databázi k dispozici, byl proveden odhad, který myšlenkově vychází z [9] a předpokládá, že existuje závislost množství tohoto odpadu na HDP státu.

Pro některé z řešených států se ovšem nedají data z Eurostatu o produkci spalitelného odpadu na osobu použít, jejich hodnota je totiž řádově nižší než u ostatních států a nelze ji považovat za věrohodnou. Jedná se o státy Bosna a Hercegovina, Černá Hora, Makedonie a Srbsko. Tyto státy byly navíc ze stejného důvodu vyloučeny ze závislosti spalitelného odpadu na HDP, vytvořené v [4], a proto tato závislost nemůže být použita pro určení produkce odpadu v dalších 3 řešených státech, které svým HDP a zeměpisnou polohou odpovídají vyloučeným zemím – jde o Albánii, Moldavsko a Ukrajinu. Pro všechny tyto zmiňované státy byla nakonec produkce určena jako aritmetický průměr produkcí ve všech ostatních řešených státech.

3.3 Kapacity zařízení

Kapacity jak skládek, tak ZEVO byly přiřazovány každému z uzlů. V matici cest pak bylo určeno spojení mezi uzlem a ZEVO nebo skládkou v něm jako 1 km.

Skládky odpadu v Evropě a jejich kapacity

V rámci této práce se bohužel nepodařilo získat data o zpracovatelských kapacitách skládek odpadu v různých částech Evropy, tento úkol samotný by byl velmi náročný. Pro potřeby modelové úlohy o toku odpadu to však není nezbytně nutné a je postačující tato data odhadnout. Tento odhad stojí na dvou poznátcích:

- 1) Ve státech se silně rozvinutým OH, mezi které řadíme Belgie, Dánsko, Estonsko, Lucembursko, Německo, Nizozemsko, Norsko, Rakousko, Švédsko a Švýcarsko se skládkování jako způsob nakládání s KO už vůbec nebo téměř nepoužívá (viz obr. 1.2), proto je jim přiřazena nulová kapacita skládek ve všech uzlech.
- 2) Ve zbylých státech se kapacity v každém uzlu určily tak, aby s mírnou rezervou odpovídaly produkci spalitelného odpadu. Tím se zajistí možnost uložení

⁵ Statistický úřad Evropské Unie.

veškerého tohoto odpadu na skládky, pokud by k této situaci během simulace došlo.

Většina států, kterým byla určena nulová kapacita skládek, jsou ekonomicky silně rozvinuté země západní a severní Evropy s OH na vysoké úrovni, pro které není zákaz skládkování neupraveného SKO překvapivým krokem. Státem, pro který naopak není takovýto postup tolik očekávatelný, je Estonsko. Rozhodnutí přidělit tomuto státu v modelové úloze nulové kapacity skládek vychází z [10], kde bylo zmíněno, že od roku 2014 se předpokládá skládkování pouze zbytkových reziduí ze zpracování odpadu v ZEVO nebo MBÚ⁶. V rámci této práce se počítá s dodržением tohoto předpokladu.

Všechna tato odhadnutá data najdete v příloženém souboru na listu *kap_skl* a na obr 3.3 vidíte výňatek z tohoto listu.

č.	kapacita skládek [t/rok]	reprezentující uzel	oblast	země	spal. odpad v území [t/rok]
15ka	1200000	Praha	Střed ČR	Česká republika	1192984,23
16ka	690000	Plzeň	Západ ČR		689210,88
17ka	500000	Brno	Jihovýchod		495244,10
18ka	730000	Ostrava	Východ ČR		722853,79
19ka	0	Kobenhavn	Ostrovky	Dánsko	1829205,04
20ka	0	Viborg	Pevnina		903801,96

Obr. 3.3: Kapacity skládek ve vybraných územích

ZEVO v Evropě a jejich kapacity

Na listu *kap_evo* jsou shromážděna data o zpracovatelských kapacitách ZEVO. Většina údajů byla převzata z [4], pouze v případě spalovny v Lucembursku byly údaje získány přímo z jejích stránek [11] a pro spalovnu ve Slovinsku z [6]. Výňatek z tohoto listu vidíte na obr. 3.4.

č.	kapacita ZEVO [t/rok]	reprezentující uzel	oblast	země
19s	2 376 237	Kobenhavn	Ostrovky	Dánsko
20s	1 065 713	Viborg	Pevnina	
21s	0	Tartu	Louna Eesti	Estonsko
22s	0	Parnu	Laane Eesti	
23s	220 000	Tallinn	Sever Eesti - zbytek	

Obr. 3.4: Kapacity ZEVO ve vybraných územích

⁶ MBÚ je zkratka pro mechanicko-biologickou úpravu odpadu, respektive v tomto případě pro zařízení, kde k této úpravě dochází.

3.4 Poplatky za zpracování odpadu

Poplatky jak za spalování, tak za skládkování odpadu, které musí původce uhradit, je nutné rozdělit do dvou kategorií na základě toho, komu jsou vlastně placeny:

- **daň za zpracování** – poplatek uložený veřejným orgánem (většinou na národní úrovni) za likvidaci odpadu na určeném místě (spalovna/skládka) s cílem ochrany životního prostředí. Výnos těchto poplatků je ziskem orgánu, který ho uložil. [6]
- **poplatek na bráně⁷** – poplatek stanovený provozovatelem zařízení za provozování služeb. Jeho výnos je navržen tak, aby pokryl náklady spojené s provozem a vytvářel profit. Tento poplatek může být daleko dynamičtější a může se velmi často měnit v závislosti na situaci na trhu. [6]

Suma těchto dvou poplatků bude v rámci této práce nazývána **celkový poplatek za zpracování** (za skládkování/za spalování). Ujasnění této terminologie je důležité hlavně z toho důvodu, že zdroje použité při tvorbě této práce se v ní rozcházejí. Některé se shodují s touto prací, ale jiné používají termín *poplatek na bráně* pro označení *celkového poplatku za zpracování*.

Informace o daních za zpracování a o poplatcích na bráně byly vyhledávány samostatně. V souboru *počáteční stav* jsou však pro každý uzel zaneseny jen hodnoty celkových poplatků za zpracování, a to z toho důvodu, že k tomuto úkolu je přistupováno z hlediska původce odpadu, pro kterého je rozhodující právě tato hodnota.

V několika řešených zemích existuje více než jedna hodnota daně za zpracování. Příkladem budiž Francie, kde se daně za skládkování určují v závislosti na certifikaci skládek. V takovýchto případech byla volena taková hodnota, která byla považována za nejpopsnější.

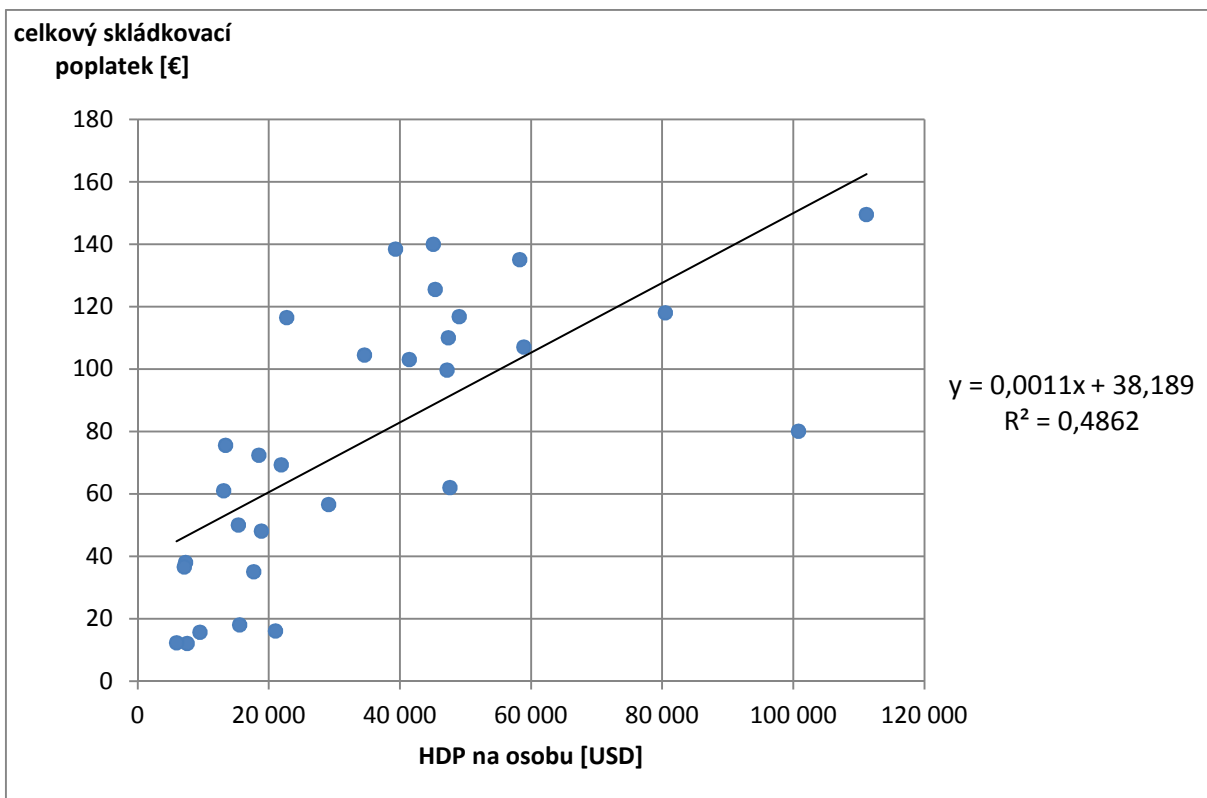
3.4.1 Celkové poplatky za skládkování

Data o celkových poplatcích za skládkování byla shromažďována primárně z [12], ale pak také z [6], [13]. Často byly uváděny rozsahy hodnot – v takovýchto případech se provedl jejich aritmetický průměr.

Ne všechna data se ale podařilo z důvěryhodných zdrojů získat. Informace o státech nepatřících k EU jsou obtížně dohledatelné, a proto jsem se rozhodl je odhadnout. Při odhadu jsem vycházel z předpokladu, že existuje závislost mezi celkovou cenou za skládkování a hodnotou HDP na osobu⁸. Pro země, u nichž byly tyto dvojice hodnot známé, jsem si je vykreslil v prostředí MS Excel, viz obr. 3.5.

⁷ V anglických textech nazýván *gate fee*.

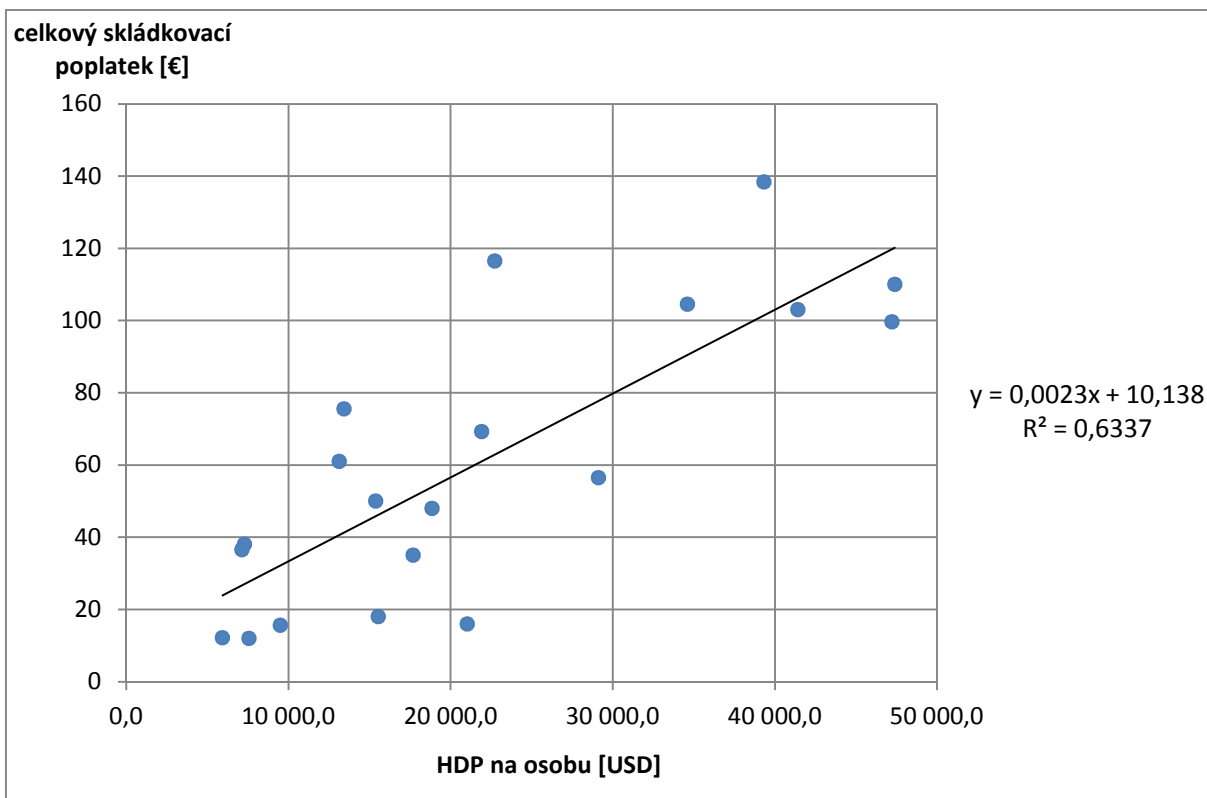
⁸ Hodnoty HDP/osoba byly převzaty z [6].



Obr. 3.5: Závislost poplatku za skládkování na HDP/osoba před odstraněním vybraných států

Body byly proloženy lineární spojnicí trendu. Index determinace R^2 takto vyšel téměř 0,5, což by se dalo považovat za postačující, ale přesto jsem se pokusil ho ještě zvýšit odstraněním některých bodů.

Rozhodl jsem se vyřadit ze závislosti body náležící státům Belgie, Dánsko, Estonsko, Lucembursko, Německo, Nizozemsko, Norsko, Rakousko, Švédsko a Švýcarsko. Důvodem je jejich mnohem nižší procento skládkovaného KO oproti ostatním státům (u všech je to méně než 20 %), proto se jejich ceny za skládkování nedají považovat za směrodatné pro zbytek Evropy. Po této úpravě vznikl graf na obr. 3.6:



Obr. 3.6: Závislost poplatku za skládkování na HDP/osoba po odstranění vybraných států

Díky této úpravě se index determinace trendu zvýšil, jak je vidět na obr. 3.6. Pomocí rovnice popisující tuto závislost a známých hodnot HDP na osobu pak byl odhadnut poplatek za skládkování v ostatních státech, viz tab. 3.1. Výjimku tvoří Lichtenštejnsko, pro které nebyla tato závislost použita, protože svým HDP odpovídá nejvíce státu Lucembursko, který byl ze závislosti odstraněn. Výsledný poplatek pro tento stát se tedy určil jako podobný lucemburskému poplatku.

stát	HDP/osoba [USD]	celkový poplatek za skládkování [€/t]
Albánie	4 652,4	20,84
Bosna a Hercegovina	4 655,6	20,85
Chorvatsko	13 529,9	41,26
Kosovo	3 815,6	18,91
Makedonie	4 850,5	21,29
Moldova	2 229,6	15,27
Turecko	10 945,9	35,31
Ukrajina	3 900,5	19,11
Lichtenštejnsko	134 617,4	175,00

Tab. 3.1: Odhadnuté hodnoty celkových poplatků za skládkování

Hodnoty všech celkových poplatků za skládkování naleznete na příloženém CD v souboru *počátečnístav* na listu *popl_skl*. Soubor, ve kterém byl proveden odhad neznámých poplatků, naleznete pod názvem *odhad_poplatků*.

3.4.2 Celkové poplatky za spalování

Hlavním zdrojem pro zjištění celkového poplatku za spalování bylo [6] a sekundárními zdroji byly [14], [15]. Ani s použitím všech těchto zdrojů se však nepodařilo dohledat data o všech zemích, a proto bylo rozhodnuto chybějící data opět odhadnout. V tomto případě ovšem nešlo data odhadnout tak lehce, jako při určování poplatků za skládkování, protože se nedařilo najít dostatečně přesnou závislost mezi spalovacími poplatky a nějakou známou sadou dat.

Při prvním pokusu o nalezení závislosti byl kopírován postup, který přinesl uspokojivý výsledek už v předchozím případě, a sice pokusit se nalézt závislost mezi HDP na osobu a celkovým poplatkem za spalování. Tato závislost ale buď neexistuje, nebo se ji nepodařilo nalézt. Druhým pokusem byla snaha o nalezení závislosti na přebytečném teple vytvořeném při termickém zpracování odpadu. Data o tomto teple byla získána z [16]. Mezi těmito daty byla určitá závislost nalezena, ale nakonec nebyla použita ze dvou důvodů:

- 1) index determinace této závislosti nebyl příliš velký,
- 2) dvojic dat, na základě kterých byla závislost stanovena, nebylo mnoho.

Z těchto dvou důvodů tedy nelze považovat závislost za dostatečně přesnou pro použití.

Výsledný odhad dat vychází z předpokladu, že ZEVO na určitém území budou kvůli konkurenceschopnosti nastavovat své ceny s ohledem na ceníky ZEVO v sousedních státech. Z tohoto důvodu byly neznámé ceny na území Estonska, Irska, Maďarska, Norska a Portugalska určeny jako podobné poplatkům v sousedních zemích. Výsledky tohoto odhadu, stejně jako data sesbíraná, naleznete na listu *popl_evo* a na obr. 3.7 vidíte příklad těchto hodnot.

č.	celkový spalovací poplatek [€/t]	reprezentující uzel	oblast	země
86s	96,68	Letzebuerg	Lucembursko	Lucembursko
87s	70,00	Pecs	HU23:Dél-Dunántúl	Maďarsko
88s	70,00	Debrecen	HU32:Észak-Alföld	
89s	70,00	Szeged	HU33:Dél-Alföld	
90s	70,00	Gyor	Západ	
91s	70,00	Budapest	Sever	
92s	0,00	Chisinau	Moldova	Moldavsko

Obr. 3.7: Celkové poplatky za spalování ve vybraných územích

4 Predikce vývoje nashromážděných dat

Pro vytvoření scénáře budoucího vývoje OH v Evropě je nutné předpovědět, jakým způsobem se budou v čase měnit aktuální agregovaná data, zmiňovaná v předchozí kapitole. Vývoj těchto dat byl stanoven pro každý řešený stát a pro každý rok v časovém rozmezí mezi roky 2015 až 2030. Při určování všech dat v budoucích letech bylo přihlíženo k jejich dosavadnímu vývoji a také k doporučením, která byla některým státům udělena ze strany EU. Zdroje, které byly využity v této kapitole, jsou [6], [12], [13] a [17].

Přesto, že vývoj dat byl vytvářen pro každou zemi samostatně, lze o některých zemích prohlásit, že předpokládaná budoucnost jejich OH nese společné znaky. Z tohoto důvodu budou řešené státy rozděleny na základě jejich úrovně nakládání s odpady do tří skupin (toto rozdělení je inspirováno obr. 1.2) a při následném popisu očekávaného vývoje dat nebude rozebírán každý stát samostatně, ale pouze tyto skupiny:

- Státy první kategorie – takové, ve kterých existují zákazy skládkování neupraveného SKO a EVO je rozšířená metoda zpracování. Do této kategorie řadíme Belgie, Dánsko, Estonsko, Lucembursko, Německo, Nizozemsko, Norsko, Rakousko, Švédsko a Švýcarsko.
- Státy druhé kategorie – v těchto státech hraje skládkování stále významnou roli, ale je vyvíjena velká snaha se od tohoto způsobu zpracování co nejdříve odklonit. Patří sem Česká republika, Finsko, Francie, Irsko, Itálie, Lichtenštejnsko, Maďarsko, Polsko, Portugalsko, Slovinsko, Spojené království, Španělsko.
- Státy třetí kategorie – tato kategorie obsahuje jednak státy v EU, jejichž podíl skládkovaného KO v r. 2013 byl 70 % a více, a pak také státy, které do EU nepatří. Řadíme sem Albánii, Bělorusko, Bosnu a Hercegovinu, Bulharsko, Černou Horu, Chorvatsko, Kosovo, Litvu, Lotyšsko, Makedonii, Moldavsko, Rumunsko, Řecko, Slovensko, Srbsko, Turecko, Ukrajinu.

Společným znakem pro všechny tři kategorie, který zároveň pomáhá zjednodušit tento úkol, je předpoklad, že produkce spalitelného odpadu na osobu zůstane po celou dobu konstantní.

Dále je třeba zmínit, že tento plán vývoje se nese v mírně optimistickém duchu a počítá se snahou evropských zemí posouvat své OH plynule směrem vzhůru v hierarchii nakládání s odpady. Tento odhadovaný vývoj však představuje jen jednu z mnoha možností jak agregovaná data, kterými se zabývala kapitola 3, interpretovat a zakládá se pouze na odhadu autora této práce. Do budoucna je možné provést množství jiných předpovědí, vycházejících ze stejných dat, ale počítajících s odlišnými průběhy vývoje.

Veškerá odhadnutá data a jiná data sloužící jako podklady pro tuto kapitolu naleznete na příloženém CD v souboru *modifikované_listy*.

4.1 Kapacity skládek

V kapitole 3.3 bylo popsáno, jakým způsobem byly určeny kapacity pro počáteční rok 2015. Státům první kategorie byla přiřazena nulová kapacita, zatímco státům druhé a třetí kategorie byla přiřazena kapacita schopná pokrýt stoprocentní tok spalitelného odpadu na skládky. Tyto hodnoty zůstaly až na výjimky po celou dobu stejné.

Jednu výjimku tvoří Česká republika, u které se kapacity skládek na nulu změni až v r. 2024, kdy vejde v platnost zákon o zákazu skládkování neupraveného komunálního odpadu schválený nedlouho před psaním této práce. Není vyloučené, že podobné zákony jsou připravovány i v jiných zemích, ale vlivem jazykové bariéry jsou takovéto informace velmi obtížně dohledatelné. Pro simulaci navíc nejsou příliš důležité, protože primární snahou této práce je simulovat odklon odpadu ze skládek za použití ekonomických instrumentů (např. zvýšení daně), nikoliv těch právních.

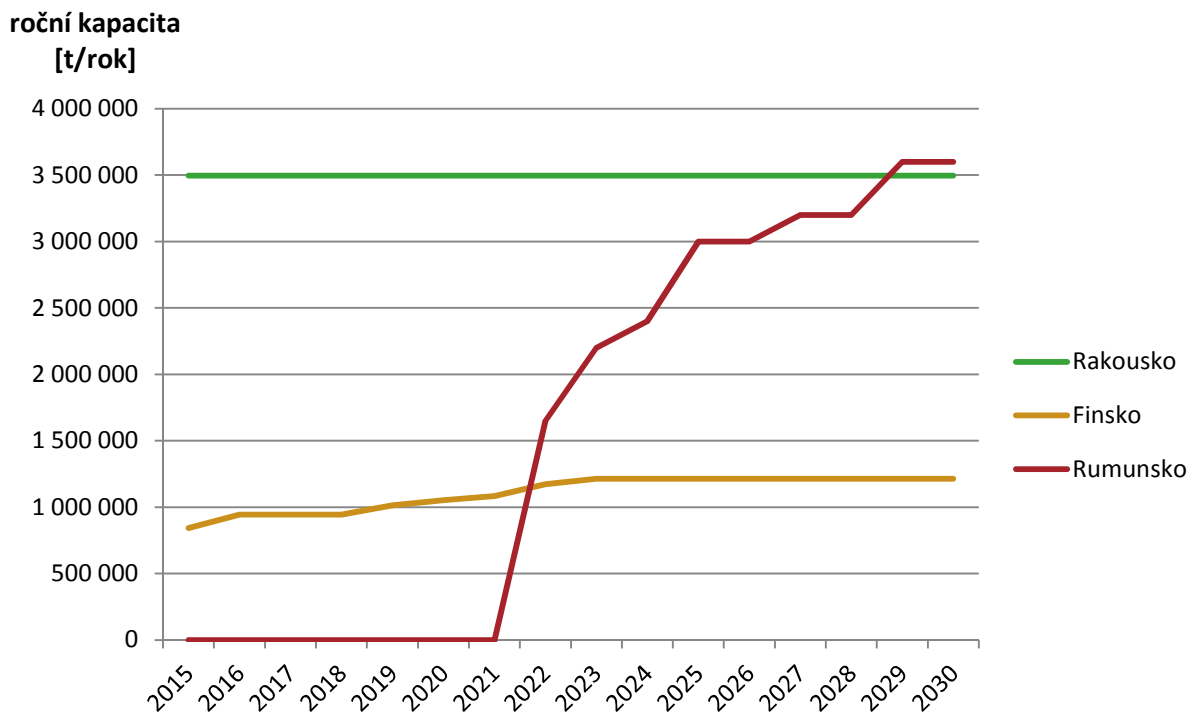
4.2 Kapacity ZEVO

Státy první kategorie mají již v počátečním roce 2015 kapacity, které odpovídají více než sedmdesáti procentům jejich produkce spalitelného odpadu a v některých případech ji dokonce převyšují. Z tohoto důvodu se zde nepředpokládá výstavba nových ZEVO.

Určování budoucích kapacit ve **státech druhé kategorie** probíhalo v závislosti na jejich produkci odpadu. Prvním pravidlem, které bylo stanoveno, bylo to, že v roce 2030 by celková kapacita v zemi měla odpovídat cca sedmdesáti procentům z množství vyprodukovaného odpadu. Při rozdělování kapacit do jednotlivých uzlů bylo navíc dbáno na to, aby nikde nevznikla nadkapacita. Roky, kdy k přírůstkům docházelo, byly víceméně nahodilé, ale pokud v některém roce porostla výrazně daň za skládkování, přibýlo větší množství kapacit.

U **států třetí kategorie** se postupovalo obdobně, pouze s tím rozdílem, že v tomto případě bylo snahou dosáhnout kapacit odpovídajících menšímu procentu produkce – a sice 60 %. ZEVO nebyly v daných zemích budovány do té doby, dokud se díky daním za skládkování nedosáhlo alespoň částečného přiblížení celkové ceny za skládkování potenciální celkové ceně za spalování. V státech mimo EU, patřících do této skupiny, to často znamená rok 2023.

Na obr. 4.1 je zobrazen graf vývoje zpracovatelských kapacit skrz celou řešenou dobu. V grafu je zobrazen vývoj pro jednu vybranou zemi z každé skupiny.



Obr. 4.1: Vývoj kapacit ZEVO pro vybrané státy

4.3 Poplatky za skládkování

U **států první kategorie** je vývoj těchto poplatků nepodstatný vlivem nulových kapacit skládek, byl tedy nechán po celou řešenou dobu stejný.

Pro státy druhé i třetí kategorie se určoval samostatně vývoj pro poplatek na bráně i pro daň za skládkování.

Ve **státech druhé kategorie** se nepočítalo se skokovým nárůstem poplatků na bráně, a proto se jejich hodnoty zvyšují pouze vlivem inflace o 2 % ročně.

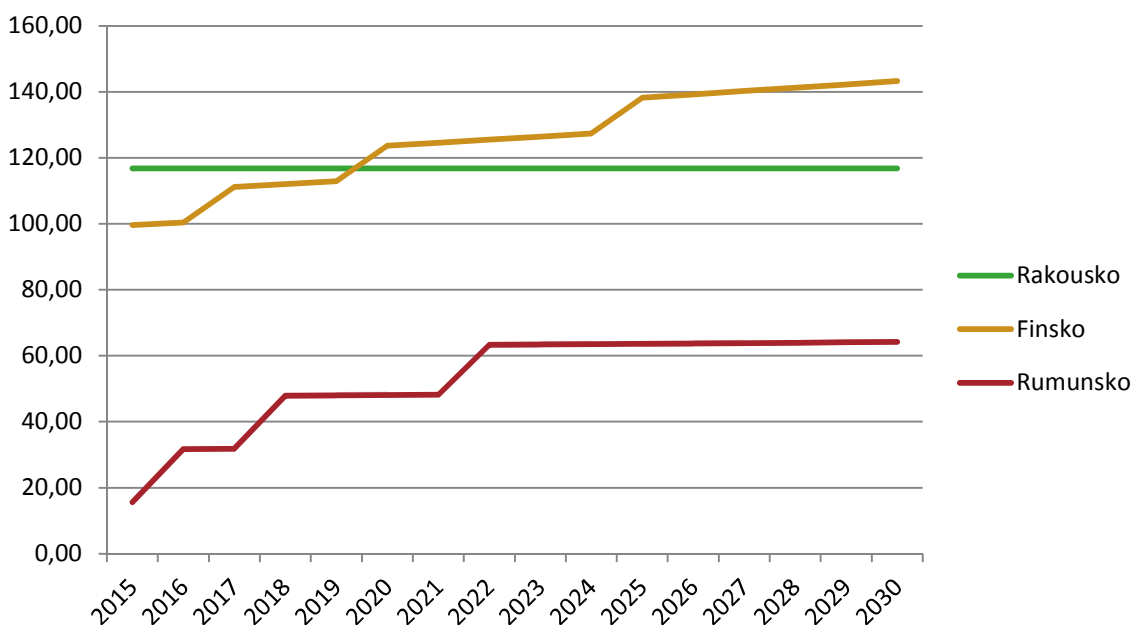
Určení vhodné daně v průběhu let bylo silně závislé na momentálním poplatku za spalování – daně byly zvyšovány tak, aby celkový poplatek za skládkování činil po celou dobu více, než celkový poplatek za spalování. Pokud tomu takto v některém státě nebylo v počátečním roce 2015, daň se zvyšovala rychleji. Výjimku tvoří opět ČR, kde je vývoj daně podstatný pouze do r. 2024. Po tomto roce se zavádí zmiňovaný zákaz skládkování a cena za skládkování se tak stává nepodstatnou.

Státy třetí kategorie se v této části dělí ještě na 2 skupiny. Pro první z nich, do které patří Bulharsko, Litva, Lotyšsko, Rumunsko, Řecko a Slovensko, se postupovalo na základě minulého vývoje a doporučení EU (podobně jako u států druhé kategorie). Pro druhou skupinu, tvořenou zbylými státy, jsem poplatky v r. 2015 odhadoval v kapitole 3.4.1 a jejich vývoj musím proto opět odhadnout. Odhad proběhl následovně:

- V počátečním stavu z r. 2015 se předpokládá nulová daň za skládkování odpadu, proto je o odhadnutém poplatku z kapitoly 3.4.1 uvažováno jen jako o poplatku na bráně. Tento poplatek na bráně poté roste v následujících letech s dvouprocentní inflací.
- Daň je všem státům zavedena v r. 2017 jako třetina jejich momentálního poplatku na bráně.
- V rocích 2020 a 2023 je daň zdvojnásobena oproti předchozímu roku.

Graf na obr. 4.2 ukazuje vývoj celkového poplatku za skládkování ve třech vybraných reprezentujících zemích.

**celkový poplatek
za skládkování [€]**



Obr. 4.2: Vývoj celkového poplatku za skládkování pro vybrané státy

4.4 Spalovací poplatky

Jak již bylo zmíněno v kapitole 4.2, **státy první kategorie** mají v poměru k produkci vysoké kapacity ZEVO. Proto bylo předpokládáno, že *poplatky na bráně* v těchto spalovnách nebudou růst s inflací, ale budou zůstávat konstantní (pokud je kapacita přibližně stejná nebo mírně nižší) nebo dokonce klesat o 1 % ročně (pokud kapacita převyšuje produkci). *Daně za spalování* budou naopak růst. Motivací k tomuto zvyšování daní je myšlenka, že správní orgány, které tyto daně určují, se budou snažit udržet

celkovou cenu za spalování na vyšší úrovni, aby se z recyklace nestala metoda ekonomicky neschopná konkurovat spalování.

Problematickými státy v této kategorii se ukázaly Dánsko a Švédsko. Současný celkový poplatek, který se podařilo dohledat, je nerealisticky nízký a navíc se nepodařilo zjistit, jaká část tohoto poplatku je tvořena daní. Důvodem takto nízkého poplatku může být vysoká nadkapacita v obou těchto státech. Je také možné, že spalovny jsou zde finančně podporovány státem a mnou zjištěné hodnoty tuto podporu nezohledňují. Třetí okolnost, která by mohla způsobovat takto nízký poplatek, je vysoká výkupní cena tepla vzniklého při EVO, která by provozovatelům zařízení v těchto zemích dovolila nastavit poplatky na bráně na nižší hodnotu a přesto dosáhnout vysokého zisku. Ať jsou důvody jakékoliv, rozhodl jsem se s těmito zjištěnými hodnotami pracovat a případné chyby v simulaci vzniklé touto nesrovnalostí řešit pouze pokud opravdu vzniknou.

U států **druhé kategorie** roste poplatek na bráně stejně jako v případě poplatku na bráně u skládek, tedy o 2 % ročně. Výjimku od tohoto vzorce představují pouze státy Polsko a Itálie, kde zjištěný poplatek na bráně v r. 2015 je o tolik větší, než celková cena za skládkování, že by mohl bránit spalovnám v těchto zemích v konkurenceschopnosti. U Itálie tedy zůstává poplatek na bráně po nějakou dobu konstantní a v Polsku dokonce klesá mezi léty 2015 až 2017 skokově.

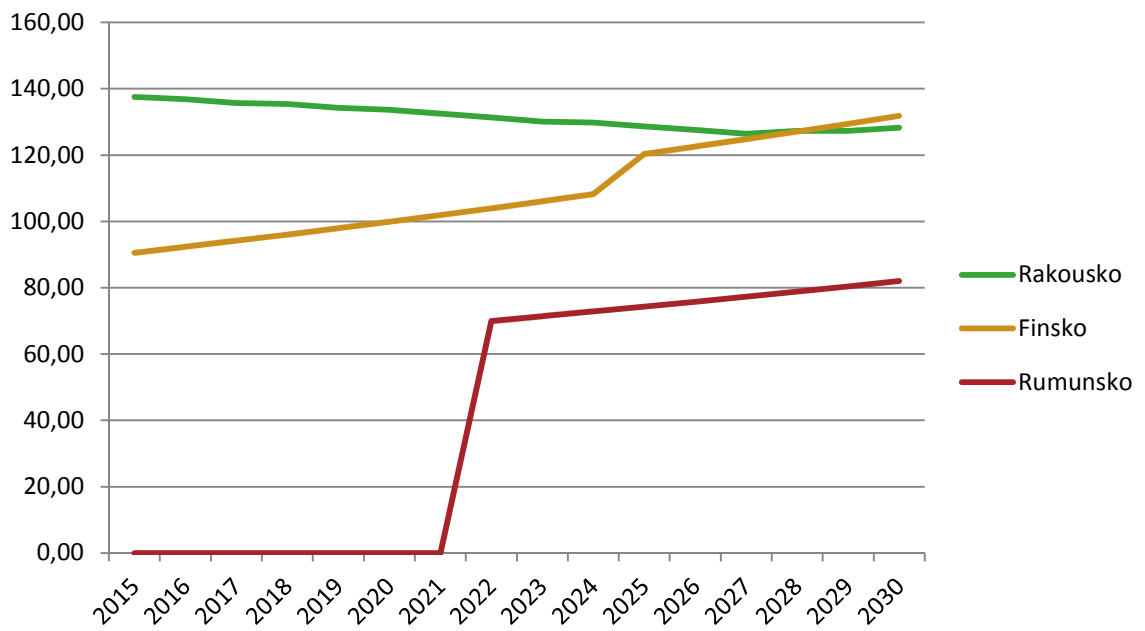
Většina z těchto států neměla v roce 2015 zavedenou daň za spalování. Zaváděla se pouze tehdy, pokud celkový poplatek za skládkování odpadu výrazněji převýšil celkový poplatek za spalování. Zároveň však byla vyvinuta snaha, aby do r. 2030 ve všech zemích z této kategorie činil celkový poplatek za spalování více než 100 €. Za touto snahou stojí myšlenka převzatá z [6], kde je uvedeno, že státy mají vyšší šanci přiklonit své OH směrem k recyklaci tehdy, když poplatek za nejlevnější způsob odstranění odpadu přesáhne právě 100 €.

V nově vzniklých spalovnách ve **státech třetí kategorie** byl zaváděn poplatek na bráně v rozmezí 65 € až 80 € v závislosti na hodnotě HDP/osoba a následně se zvyšuje s inflací. Nižší hodnota, než je spodní hranice tohoto intervalu, nebyla zaváděna – po konzultaci s vedoucím práce bylo usouzeno, že taková situace by pak pro provozovatele ZEVO nebyla ekonomicky výhodná.

Daň nebyla v žádném státu v této kategorii zavedena. Na rozdíl od států z předchozí kategorie se u těchto států do r. 2030 neočekává překročení hranice 100 € za spálení tuny odpadu.

Na obr. 4.3 je stejně jako v předchozí kapitole demonstrován vývoj celkových cen, tentokrát za spalování.

**celkový spalovací
poplatek [€]**



Obr. 4.3: Vývoj celkového spalovacího poplatku pro vybrané státy

5 Simulace scénářů nástrojem NERUDA

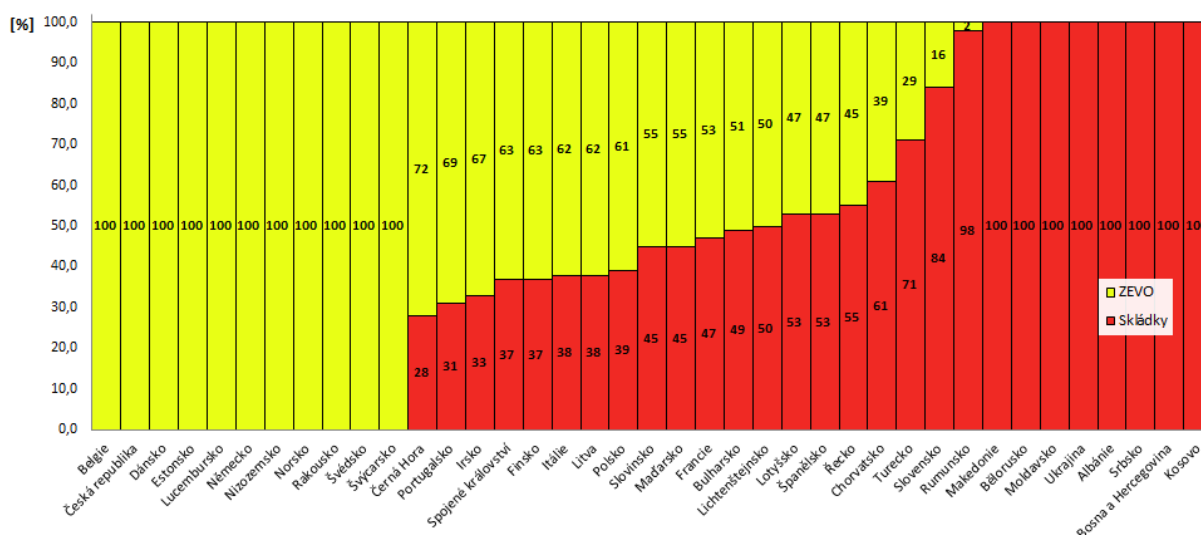
Po dokončení sběru a predikce dat bylo přistoupeno k samotné simulaci možných toků odpadu po Evropě za použití nástroje NERUDA. Původně bylo plánováno provést tuto simulaci pro každý rok v rozmezí let 2015 až 2030, ale z časových důvodů bylo od tohoto záměru upuštěno a simulace byla provedena **pouze pro rok 2025**.

Pro tento rok bylo vytvořeno 1000 možných scénářů. Tyto scénáře se mezi sebou liší cenou za různé druhy zpracování v jednotlivých uzlech a v závislosti na těchto změnách i množstvím odpadu zpracovaným v jednotlivých zařízeních. Nástroj NERUDA bylo určeno, aby se celková cena za oba druhy zpracování v každém uzlu pohybovala v rozmezí 90 % až 110 % z odhadnutých cen. Další důležitou okrajovou podmínkou bylo zanedbání vlivu MBÚ.

Výstupem této simulace je velké množství dat, které naleznete na přiloženém CD v souboru pojmenovaném *vysledky2025*. V následujících podkapitolách je provedena analýza těchto dat.

5.1 Výsledné nakládání s odpady

Na základě dat o celkovém množství zpracovaného odpadu v ZEVO a na skládkách v jednotlivých zemích v této simulaci mohl být vytvořen graf podobný tomu na obr. 1.2. Graf na obr. 5.1, který naleznete ve vyšším rozlišení v *příloze A*, ale ukazuje rozdělení pouze spalitelného odpadu, nikoliv komunálního.



Obr. 5.1: Procentuální rozdělení jednotlivých metod zpracování v řešených zemích

Podíl energeticky využívaného a skládkovaného odpadu v jednotlivých zemích byl vytvořen pro každý scénář, na obr. 5.1 pak vidíte aritmetické průměry těchto podílů.

V roce 2025 je v každém státě zbudována alespoň nějaká kapacita ZEVO, nulový podíl spalovaného odpadu v některých státech tedy není způsoben deficitem kapacit, ale nedostatečně konkurenceschopnými cenami v ZEVO.

Situace není jednoznačná ani ve státech se sto procenty spalovaného odpadu na jejich území. V rámci této simulace totiž nemusí platit, že veškerý odpad vyprodukovaný v jednom území bude v tom samém území i zpracován. Tímto tokem odpadu se zabývá následující kapitola.

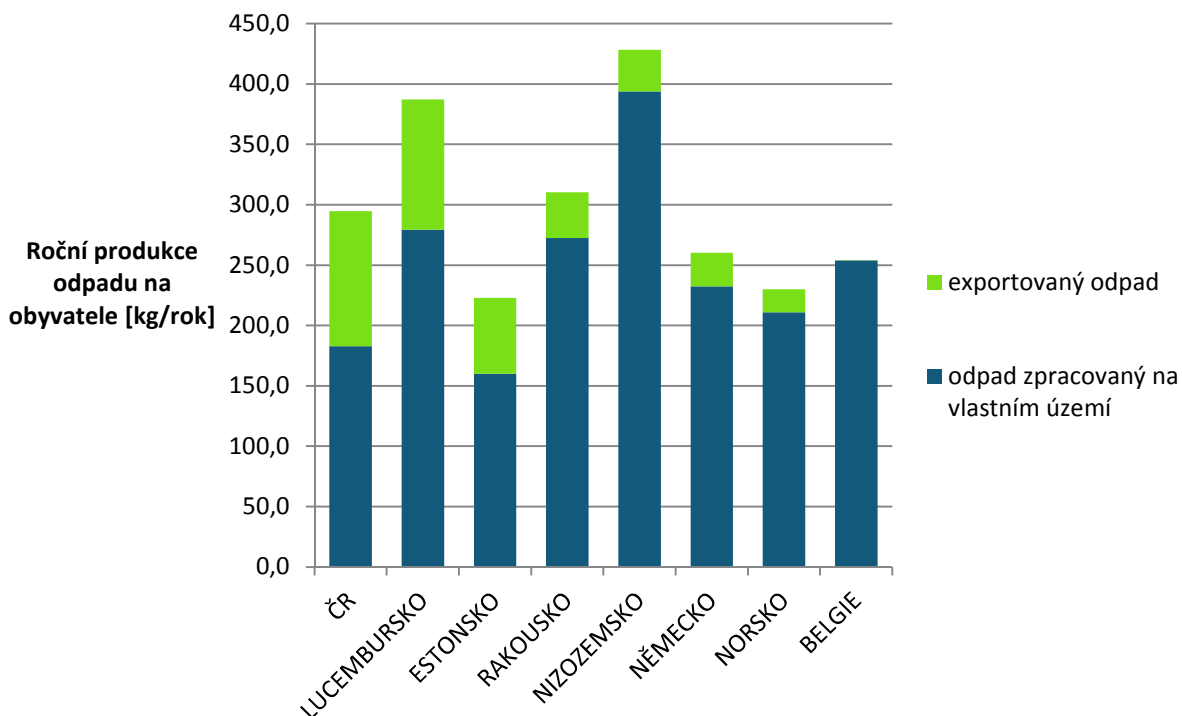
5.2 Mezistátní tok odpadu

Jedním z důvodů, proč se tato práce snaží zanalyzovat i za cenu méně detailního měřítka vývoj OH v celé Evropě, je predikce možného toku odpadu mezi státy. Hodnota exportovaného nebo importovaného odpadu pro daný stát byla určena pro každý scénář jako rozdíl mezi odpadem vyprodukovaným v zemi a celkovým odpadem v zemi zpracovaným (jak ve skládkách, tak ve spalovnách). Následně byl proveden aritmetický průměr těchto hodnot. Aby bylo možné tyto hodnoty průměrného exportu/importu mezi sebou srovnávat, byly ještě převedeny z celkových hodnot na hodnoty na obyvatele.

Ve většině zemí nedošlo k exportu ani k importu, veškerý vyprodukovaný odpad byl zpracován na vlastním území. Těmto zemím proto nebude v této kapitole věnována pozornost.

5.2.1 Export odpadu

Na obr. 5.2 lze vidět, že v některých státech převyšuje produkce odpadu v r. 2025 průměrné množství zpracovaného odpadu na jejich území. Tyto státy tedy musí svůj odpad exportovat do států okolních.



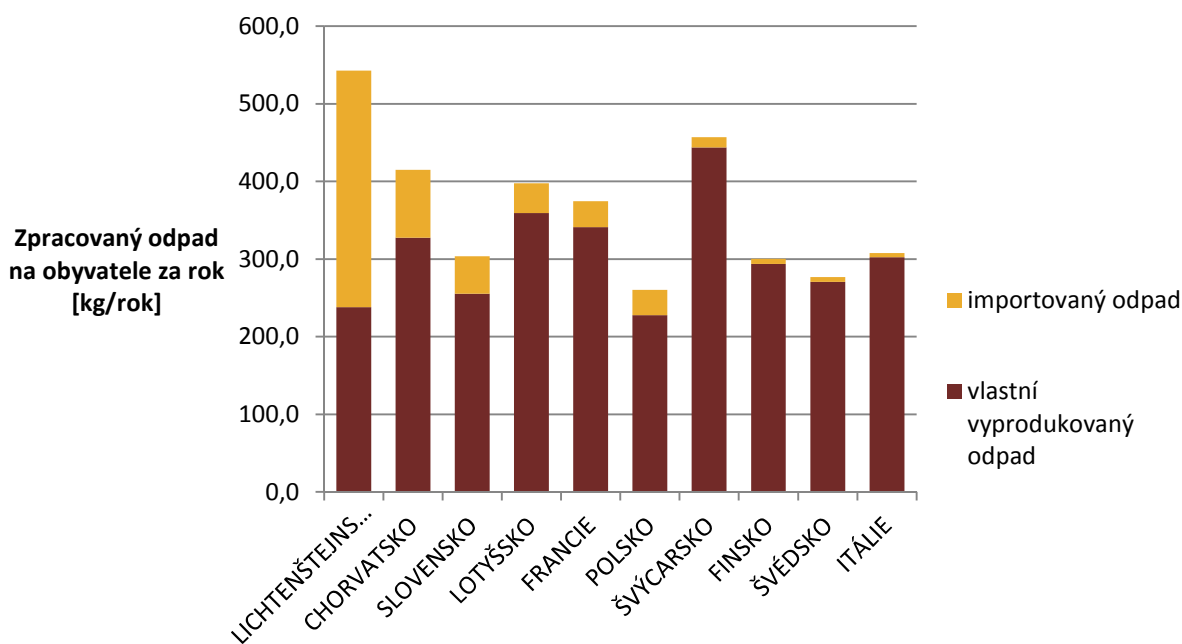
Obr. 5.2: Podíly exportovaného odpadu a odpadu zpracovaného na vlastním území z vyprodukovaného odpadu v exportujících státech

Největší množství exportovaného odpadu na obyvatele bylo zaznamenáno pro ČR, ze které se exportuje více než 35 % produkovaného odpadu. Důvodem za tímto vysokým číslem je malá kapacita ZEVO v daném roce, která není schopná pokrýt zvýšený tok odpadu, proudící do spaloven po zákaze skládkování neupraveného KO z roku 2024.

Zbýlé exportující státy jsou bez výjimky státy 1. kategorie, mající s ČR společné závazky skládkování odpadu. Skutečný export z těchto zemí by ale byl pravděpodobně menší a to proto, že v rámci této simulace byl zanedbán vliv MBÚ, které představují další možnost zpracování spalitelného odpadu.

5.2.2 Import odpadu

Odpad, který z některých zemí odteče, musí zase do jiných zemí naopak přitéct. Srovnání států, na jejichž území převyšuje množství zpracovaného odpadu množství produkovaného odpadu, vidíte na obr. 5.3.



Obr. 5.3: Podíly importovaného odpadu a vlastního vyprodukovaného odpadu z množství zpracovaného odpadu v importujících státech

Největší podíl importovaného odpadu na osobu má Lichtenštejnsko, které má ovšem velmi malý počet obyvatel a celkové množství importovaného odpadu je tedy oproti ostatním státům nízké.

Ze všech těchto států pouze pro Švédsko a Švýcarsko platí, že i přes importovaný odpad zde nedochází ke skládkování. Všechny ostatní země stále určitá procenta odpadu ukládají na skládky. Lze tedy předpokládat (a tento předpoklad je v následující kapitole potvrzen), že výsledkem této simulace je taková situace, kdy určitá část odpadu importovaného ze západních zemí, které bojují se skládkováním zákazy na vlastním území, bude nakonec stále skládkována, jen v jiné zemi. Tento výsledek je ovšem nerealistický, protože je v přímém rozporu s legislativou EU.

Nařízení evropského parlamentu a rady č. 1013/2006 totiž zakazuje vývoz odpadu do třetích zemí za účelem jeho likvidace (tedy skládkování) a povoluje ho pouze v případě, že je odpad určen k materiálovému nebo energetickému využití v MBÚ nebo ZEVO. Toto nařízení není do současné verze nástroje NERUDA implementováno a jeho nezohlednění znehodnocuje výsledek této simulace. I přesto tato simulace nebyla zbytečná, protože ačkoliv je její výsledek nereálný, podařilo se jí ukázat neodkladnou nutnost zohlednit ve veškerých budoucích simulacích toto nařízení a přispívá tak k vývoji nástroje NERUDA.

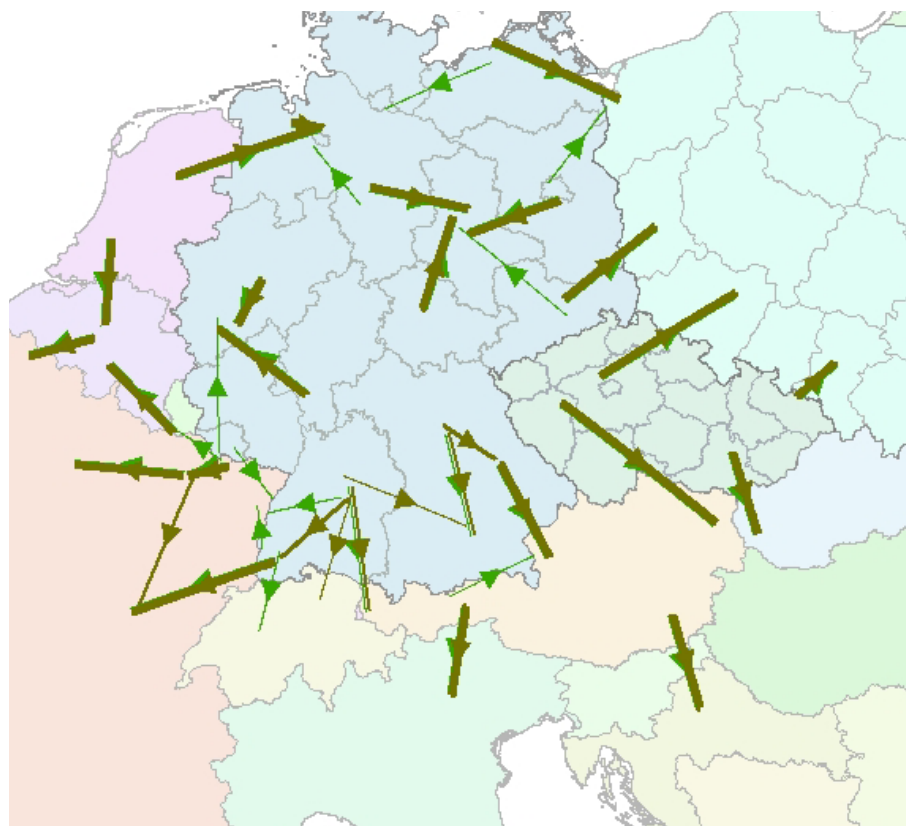
5.2.3 Vizualizace toku odpadu

V poslední kapitole věnované exportu a importu bude ukázáno, jak vypadá vizualizace jednoho z tisíce vytvořených scénářů. Díky této vizualizaci je možné zjistit konkrétně, mezi kterými zeměmi dochází k toku odpadu.

Důležité je zmínit, že tato vizualizace představuje pouze model svozových tras, který se zakládá na datech odhadovaných autorem práce. Navíc je tento model zatížen chybou, zmiňovanou v kapitole 5.2.2. Z těchto důvodů je nereálné, že by korespondoval s opravdovým budoucím vývojem, ale v rámci této práce poslouží k alespoň k vizualizaci získaných dat.

Obr. 5.4 ukazuje, jak by vypadal tok odpadu ve střední Evropě. Lze vidět například to, že odpad z území ČR proudí hlavně do Polska, ale také na Slovensko a do Rakouska. Rakousko samotné je ale exportujícím státem, proto množství odpadu importovaného z ČR a Německa musí být menší, než množství odpadu vyvezeného do Itálie a Chorvatska.

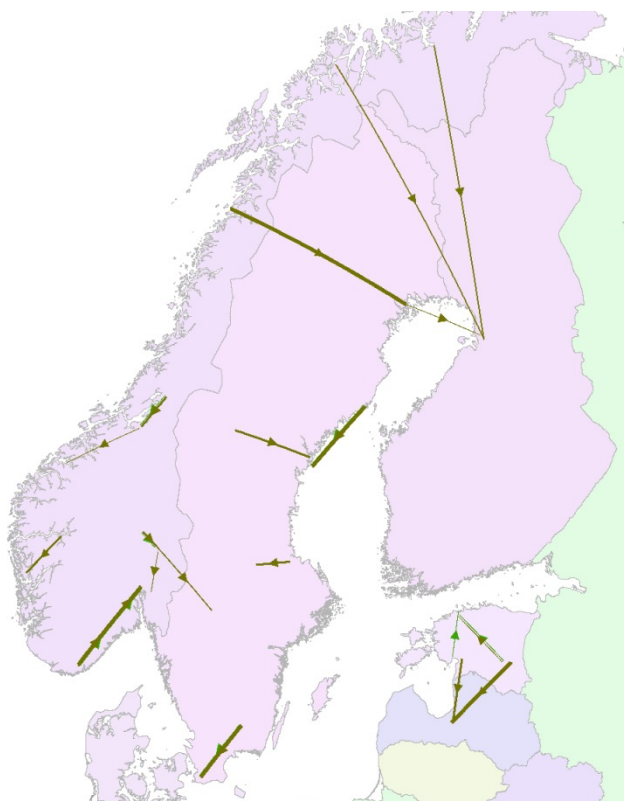
Rozeberme ještě v souvislosti s touto částí mapy podrobněji jeden konkrétní tok odpadu. Odpad proudící z Rakouska do Chorvatska míří do uzlu Záhřeb. V tomto uzlu je kapacita ZEVO 400 kt/rok (viz soubor *modifikované_listy*, záložka *kap_evo*) a produkce odpadu zde přesahuje 600 kt/rok (viz soubor *modifikované_listy*, záložka *odpad*). Je tedy očividné, že v tomto uzlu by docházelo ke skládkování i bez rakouského importu, s ním však bude zdejší množství skládkovaného odpadu ještě větší. Je tak potvrzena teorie vyslovená v předchozí kapitole o skládkování odpadu ze zemí z první kategorie v jiných státech, které je v rozporu s platnou legislativou EU.



Obr. 5.4: Tok odpadu ve střední Evropě

Druhá část Evropy, kde k mezistátnímu toku dochází, je oblast Skandinávie a Pobaltí, viz obr. 5.5. Zde je situace o něco jednodušší, než ve střední Evropě. Nadbytečný odpad z Estonska jednoduše teče cestou nejmenšího odporu do Lotyšska, kde opět přispívá ke skládkování, a odpad z Norska putuje částečně do Švédska ke spálení a částečně do Finska (ke spálení i skládkování). Stejně jako v případě střední Evropy, veškerý tok odpadu na skládky je v rozporu s Nařízením evropského parlamentu a rady č. 1013/2006 a představuje tak chybu v modelu.

Ohledně Švédska byla v kapitole 4.4 vyslovena obava o výsledek simulace v této zemi kvůli jejich příliš nízkému a možná špatně zjištěnému poplatku na bráně ve spalovnách. Tato obava se nakonec nenaplnila, protože jak je vidět na obr. 5.5, k žádnému enormně velkému importu do švédských spaloven nedošlo.



Obr. 5.5: Tok odpadu ve Skandinávii a Pobaltí

Mapu svozových tras ve vyšším rozlišení a s legendou naleznete v příloze B.

5.3 Využití ZEVO ve státech 3. kategorie

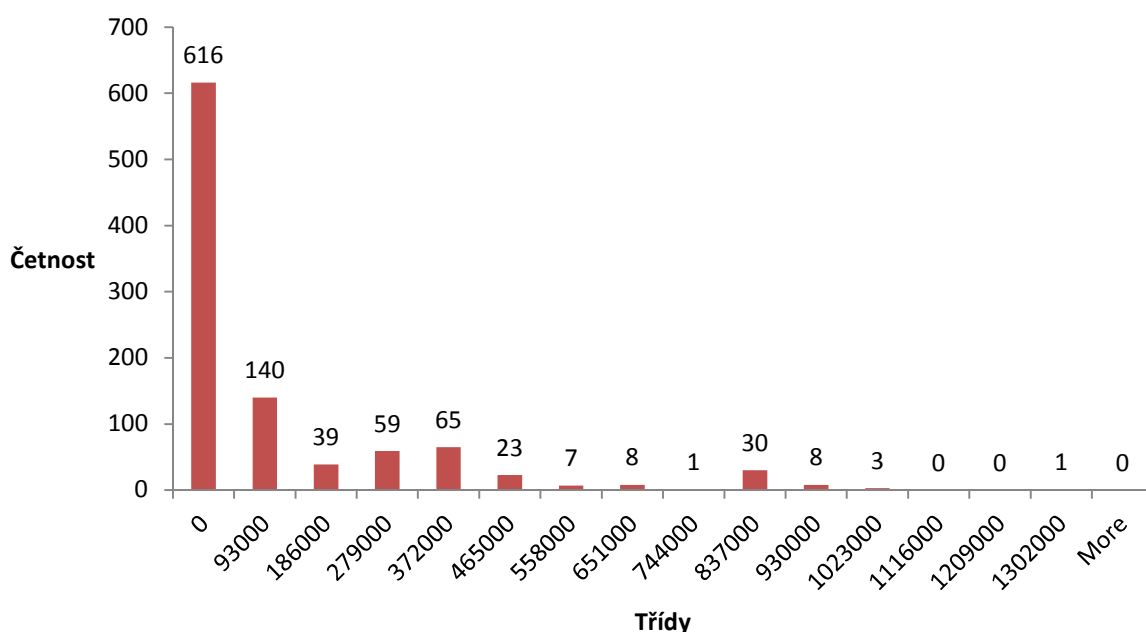
V kapitole 5.1 bylo naznačeno nevyužití možných zbudovaných kapacit ZEVO. Toto konstatování ale vycházelo z hodnot **průměrného** spáleného a skládkovaného odpadu, které nepopisují tuto simulaci nejméně. Je tedy vhodné rozdělit provedené scénáře do tříd na základě součtu množství odpadu proudícího do ZEVO ze všech uzlů v zemi

a těmto třídám pak určit četnost. Pozornost v této kapitole bude věnována pouze státům 3. kategorie – jejich potenciál pro výstavbu ZEVO je totiž největší.

Při pohledu na obr. 5.1 je jasné, že v zemích, kde je průměrná hodnota skládkovaného odpadu stoprocentní, nedošlo k využití kapacit ZEVO v žádném scénáři. Z ostatních států byli vybráni dva reprezentanti, u kterých se dal očekávat vzájemně opačný výsledek, a pro ně bylo provedeno rozdělení scénářů do tříd.

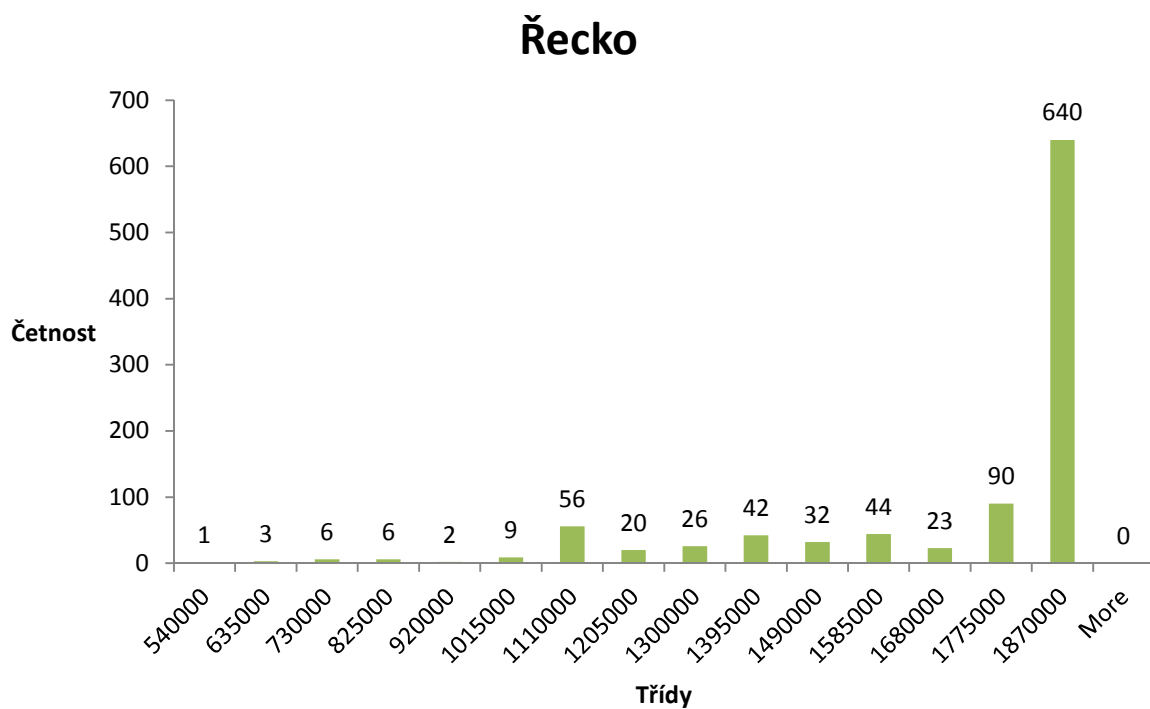
Státem, kde k využití ZEVO při zadaných podmínkách nejspíše nedojde, je Rumunsko. Na obr. 5.6 lze vidět, že ve většině scénářů vůbec nedošlo k využití možných zbudovaných kapacit. Důvod za tímto nevyužitím je jednoduchý a je jím příliš nízký poplatek na bráně na skládkách, který i přes zavedení výrazné daně za skládkování činí spalovací poplatky neschopné konkurence.

Rumunsko



Obr. 5.6: Rozdělení možného množství odpadu zpracovaného v ZEVO v Rumunsko v r. 2025 do tříd dle četnosti

Naopak stát, ve kterém je výsledek pro spalovny pozitivní, je Řecko, viz obr. 5.7. Zde mají jasně nejvyšší četnost scénáře, při kterých celkové množství spáleného odpadu leží na intervalu od 1775 kt/rok do 1870 kt/rok. V tomto intervalu leží i celková kapacita možných ZEVO existujících v r. 2025, lze tedy prohlásit, že s největší pravděpodobností dojde k využití veškeré potenciální zbudované kapacity.



Obr. 5.7: Rozdělení možného množství odpadu zpracovaného v ZEVO v Řecku v r. 2025 do tříd dle četnosti

Závěr

Cílem této práce bylo agregovat veřejně dostupná data popisující současný stav OH ve vybraných evropských zemích, což přispěje ke zpřesnění datové základny ÚPEI VUT v Brně, a následně zpracovat analýzu vývoje těchto dat.

První část této práce hovoří o motivaci pro tento úkol a dává čtenáři základní povědomí o nakládání s odpady. Dále zde naleznete definice některých pojmů, s nimiž se pracuje v celém zbytku práce.

Druhá část práce se věnuje stručnému popisu nástroje NERUDA, vyvinutého na ÚPEI VUT v Brně. Tento nástroj slouží k optimalizaci nakládání s odpady pro pevně stanovené okrajové podmínky a s jeho pomocí byla řešena analýza budoucího vývoje veřejně dostupných dat popisujících OH v řešených státech.

Daty, o kterých se zmiňuji, se zabývá třetí část práce. Ze začátku obsahuje tato kapitola shrnutí práce, kterou provedli autorovi kolegové a která byla nezbytná pro tuto práci samotnou. Následuje popis sběru, popřípadě odhadu pro každou sadu dat – tedy data o produkci spalitelného odpadu, o kapacitách skládek, o kapacitách ZEVO, o poplatcích za skládkování a o poplatcích za spalování. V každé podkapitole naleznete informace o zdrojích, ze kterých se čerpalo.

Čtvrtá část práce řeší možný vývoj agregovaných dat z předchozí kapitoly mezi roky 2015 až 2030. Tento vývoj nebyl odhadován náhodně, bylo při něm přihlíženo k dosavadnímu vývoji v řešených zemích a také k doporučením, která svým členským státům uděluje EU.

Poslední část této práce analyzuje výsledky optimalizační úlohy, provedené nástrojem NERUDA. Simulace toku odpadu byla provedena jen pro rok 2025. Bylo provedeno 1000 různých scénářů a ty se mezi sebou lišily cenami v jednotlivých zařízeních, které se pohybovaly v rozmezí 90 % až 110 % cen odhadnutých v kapitole 4. Výsledky byly zpracovány a bylo určeno průměrné procentuální rozdělení odpadu tekoucího v dané zemi na skládky a do spaloven.

Dále se v této poslední části práce řešil import a export odpadu v některých státech. Tento mezistátní tok byl vizualizován v prostředí softwaru ArcGIS. Výsledky této části indikovaly, že by simulované toky odpadu měly proudit ze zemí se zákazy skládkování odpadů na skládky méně rozvinutých států. Tento výsledek je ale v přímém rozporu s právními normami EU, které zakazují export odpadu do cizích zemí za účelem odstranění. Chyba vznikla na základě neimplementování této legislativy do nástroje NERUDA a její vznik tak odhaluje nedostatek tohoto nástroje a může napomoci jeho budoucímu vývoji a zlepšení.

Na závěr této části byla provedena analýza vhodnosti výstavby ZEVO v některých státech. K tomuto úkolu byly scénáře rozděleny do tříd na základě celkového spáleného odpadu v zemi a poté se hledala třída s největší četností.

Seznam použitých zdrojů a literatury

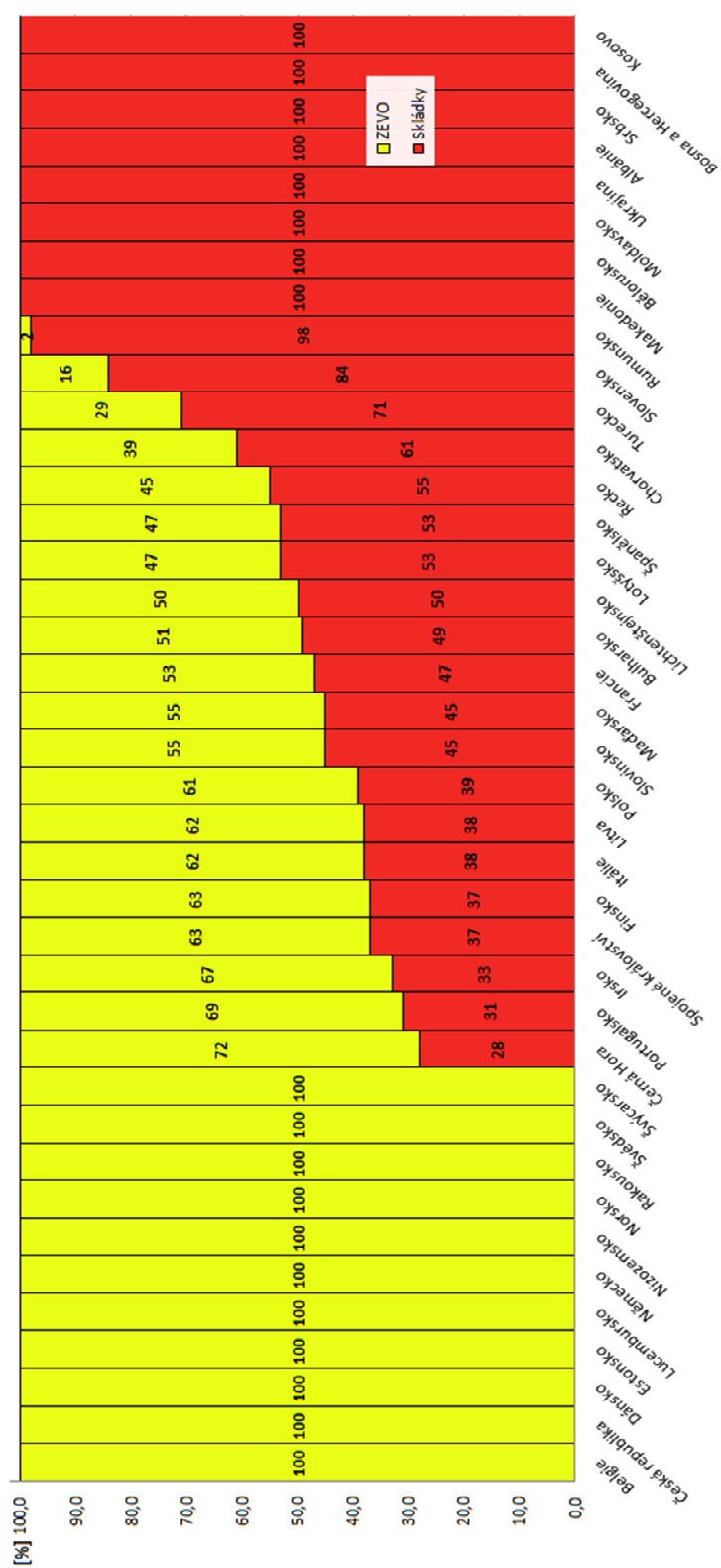
- [1] Statistika odpadů. *Statistics Explained* [online]. Eurostat, 2015 [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Waste_statistics/cs
- [2] Odpady. *Ekologický institut Veronica* [online]. ZO ČSOP Veronica, 2015 [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://www.veronica.cz/?id=83>
- [3] Směsný komunální odpad. *Vítejte na Zemi* [online]. ESF, CENIA, PARTNEŘI, 2013 [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: http://www.vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=smesny_komunalni_odpad&site=odpady
- [4] GAL, Pavel. *Identifikace podobných řešení při stochastické simulaci v oblasti odpadového hospodářství*. Brno, 2015. 47 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav procesního a ekologického inženýrství, Vedoucí práce Ing. Radovan Šomplák.
- [5] Energy Recovery from Waste | Municipal Solid Waste. *US Environmental Protection Agency* [online]. 2014 [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://www.epa.gov/waste/nonhaz/municipal/wte/>
- [6] WATKINS, E., D. HOGG, A. MITSIOS, S. MUDGAL, A. NEUBAUER, H. REISINGER, J. TROELTZSCH a M. VAN ACOLEYEN. *USE OF ECONOMIC INSTRUMENTS AND WASTE MANAGEMENT PERFORMANCES: Final Report*. Paris, 2012. Dostupné také z: http://ec.europa.eu/environment/waste/pdf/final_report_10042012.pdf
- [7] CEWEP. *Municipal Waste Treatment in 2013: EU 28 + Switzerland, Norway and Iceland*. Brusel, [2014]. Dostupné také z: http://www.cewep.eu/information/data/graphs/m_1415
- [8] NERUDA – tool for simulation of waste flows at regional and/or international level. *Ústav procesního a ekologického inženýrství FSI VUT v Brně* [online]. 2015 [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://www.upei.fme.vutbr.cz/veda-vyzkum/neruda>
- [9] HRABČÁK, Marek. Trhové principy v odpadovém hospodářství. In: *Manažérstvo životného prostredia 2012: Zborník príspevkov z 12. konferencie so zahraničnou účasťou. Bratislava, 19. - 20. november 2012*. 1. vyd. Žilina: Strix, 2012, 208 - 213. ISBN 978-80-89281-85-5. Dostupné z: http://www.sszp.eu/wp-content/uploads/2012_konf_maZP_C06_Hrabcak.pdf
- [10] BIPRO: BERATUNGSGESELLSCHAFT FÜR INTEGRIERTE PROBLEMLÖSUNGEN. *Country factsheet Estonia*. Brusel, 2011. Dostupné také z: http://ec.europa.eu/environment/waste/framework/pdf/EE%20factsheet_FINAL.pdf

- [11] EEW ENERGY FROM WASTE LEUDELANGE. *Leudelange: plant brochure*. Leudelange, 2014. Dostupné také z: http://www.eew-energyfromwaste.com/fileadmin/content/Materialbestellung/Leudelange_Standortflyer_ENG.pdf
- [12] CEWEP. *Landfill taxes & bans*. Brusel, 2015. Dostupné také z: http://www.cewep.eu/media/www.cewep.eu/org/med_557/1406_2015-02-03_cewep_-_landfill_inctaxesbans.pdf
- [13] BIPRO: BERATUNGSGESELLSCHAFT FÜR INTEGRIERTE PROBLEMLÖSUNGEN. *SUPPORT TO MEMBER STATES IN IMPROVING WASTE MANAGEMENT BASED ON ASSESSMENT OF MEMBER STATES' PERFORMANCE: Final Report*. Brusel, 2013. Dostupné také z: <http://ec.europa.eu/environment/waste/framework/pdf/Final%20Report%20130507.pdf>
- [14] Závod Spaľovňa odpadu (Spaľovňa). *Odvoz a likvidácia odpadu, a.s.* [online]. [2015] [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://www.olo.sk/casto-kladene-otazky/zavod-spalovna-odpadu-spalovna/>
- [15] URBAN MINES LTD. *Gate Fees Report 2014*. 2014. Dostupné také z: http://offlinehbpl.hbpl.co.uk/NewsAttachments/NWE/Gate_Fees_Report_2014_Final_0.pdf
- [16] CONNOLLY, D., B. VAD MATHIESEN, P. A. ØSTERGAARD, B. MÖLLER, S. NIELSEN, H. LUND, U. PERSSON, S. WERNER, J. GRÖZINGER, et al. *HEAT ROADMAP EUROPE 2050: SECOND PRE-STUDY FOR THE EU27* [online]. Aalborg: Aalborg University, 2013 [cit. 2015-05-25]. ISBN 978-87-91404-48-1. Dostupné z: http://www.euroheat.org/Admin/Public/DWSDownload.aspx?File=/Files/Files/documents/Publications/Heat%20Roadmap%20II/LAYOUT_Complete%20Heat%20Roadmap%20Europe%20Pre-Study%20II%2020130524%20-%20FINAL.pdf
- [17] AGENCY, European Environment. *Managing municipal solid waste: a review of achievements in 32 European countries* [online]. 1. oplag. Copenhagen: European Environment Agency, 2013 [cit. 2015-05-25]. ISBN 978-929-2133-559. Dostupné z: <http://www.eea.europa.eu/publications/managing-municipal-solid-waste>

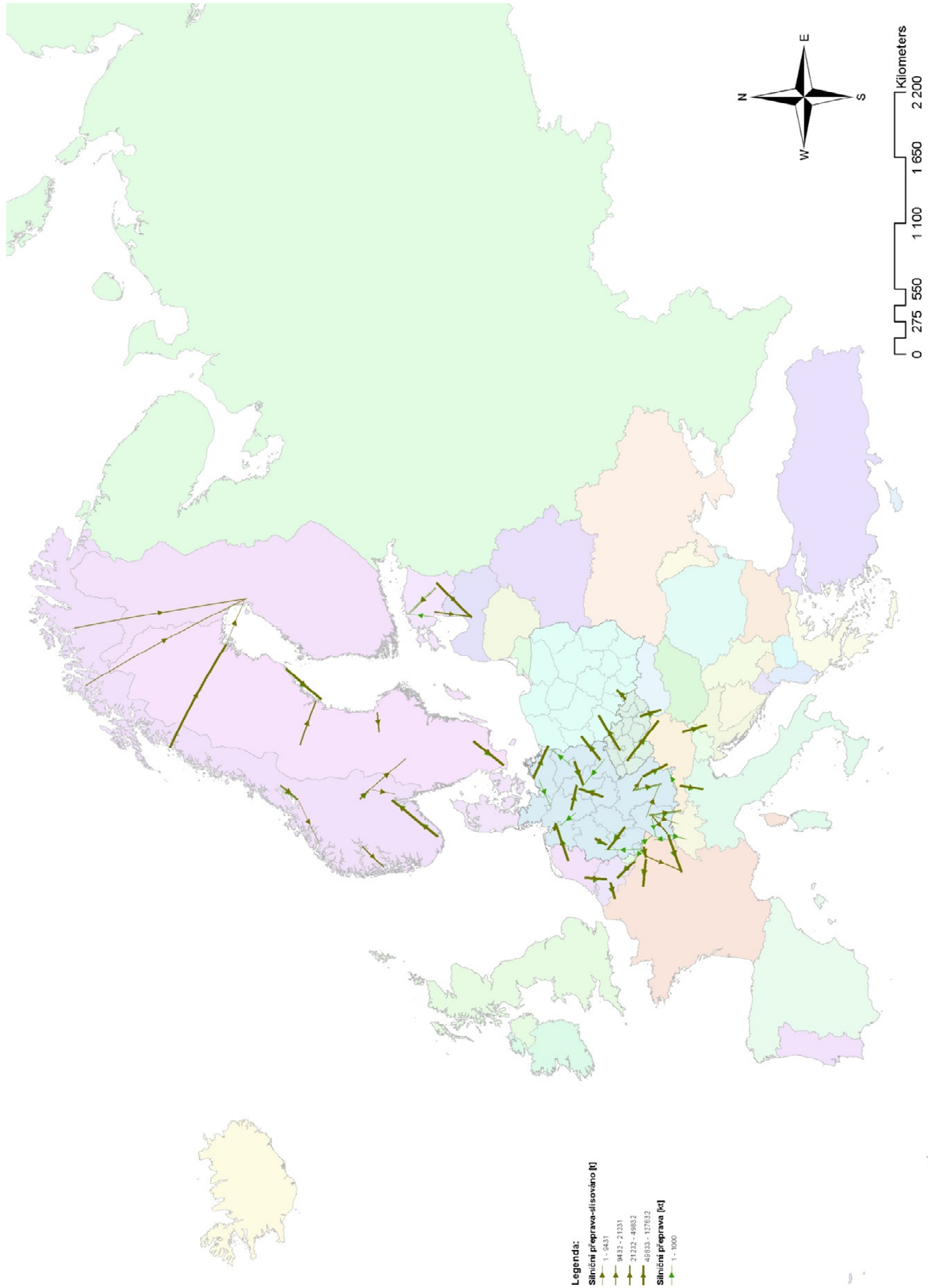
Seznam použitých symbolů a zkratek

€	euro
ČŘ	Česká republika
EU	Evropská unie
Eurostat	Statistický úřad Evropské unie
EVO	energetické využití odpadů
HDP	hrubý domácí produkt
km	kilometr
KO	komunální odpad
kt	kilotuna
MBÚ	mechanicko-biologická úprava
OH	odpadové hospodářství
SKO	směsný komunální odpad
t	tuna
ÚPEI	Ústav procesního inženýrství a ekologie
USD	americký dolar
VUT	Vysoké učení technické
ZEVO	zařízení pro energetické využití opadů

Příloha A – Graf výsledného simulovaného nakládání s odpady



Příloha B – Mapa svozu odpadu



Příloha C – Seznam příloh na CD

Přiložené CD obsahuje:

počáteční_stav.xlsx

soubor obsahující agregovaná data pro rok 2015

odhad_poplatků.xlsx

podkladový soubor s provedeným odhadem poplatků za skládkování

modifikované_listy.xlsx

soubor obsahující odhadnutá data pro roky 2015 – 2030

vysledky2025.xlsx

soubor obsahující výsledná data optimalizační úlohy a všechna ostatní podkladová data pro kapitolu 5

CD dále obsahuje elektronickou podobu této práce ve formátu PDF.